

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

| | |
|-------------------------|----------------|
| 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-2-022 改1 |
| 提出年月日 | 2020年7月8日 |

V-2-2-12 廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-2-12 廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書

目 次

| | | |
|-------|-----------------|----|
| 1. | 概要 | 1 |
| 2. | 基本方針 | 2 |
| 2.1 | 位置 | 2 |
| 2.2 | 構造概要 | 3 |
| 2.3 | 評価方針 | 13 |
| 2.4 | 適用規格・基準等 | 15 |
| 3. | 地震応答解析による評価方法 | 16 |
| 4. | 応力解析による評価方針 | 18 |
| 4.1 | 評価対象部位及び評価方針 | 18 |
| 4.2 | 荷重及び荷重の組合せ | 19 |
| 4.2.1 | 荷重 | 19 |
| 4.2.2 | 荷重の組合せ | 22 |
| 4.3 | 許容限界 | 23 |
| 4.4 | 解析モデル及び諸元 | 25 |
| 4.4.1 | モデル化の基本方針 | 25 |
| 4.4.2 | 解析諸元 | 27 |
| 4.5 | 評価方法 | 28 |
| 4.5.1 | 応力解析方法 | 28 |
| 4.5.2 | 断面の評価方法 | 31 |
| 5. | 地震応答解析による評価結果 | 33 |
| 5.1 | 耐震壁のせん断ひずみの評価結果 | 33 |
| 5.2 | 接地圧の評価結果 | 35 |
| 5.3 | 保有水平耐力の評価結果 | 36 |
| 6. | 応力解析による評価結果 | 38 |

1. 概要

本資料は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、廃棄物処理建屋の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

廃棄物処理建屋は建屋内部の一部に基準地震動 S_s に対して機能維持が要求される施設が収納されており、設計基準対象施設においては「Bクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。廃棄物処理建屋のうち、復水貯蔵槽は、設計基準対象施設においては「Bクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

廃棄物処理建屋の「Bクラスの施設の間接支持構造物」としての分類に応じた耐震評価は、平成4年10月13日付け4資庁第8732号にて認可された工事計画の添付資料「IV-2-2-2 廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書」による。

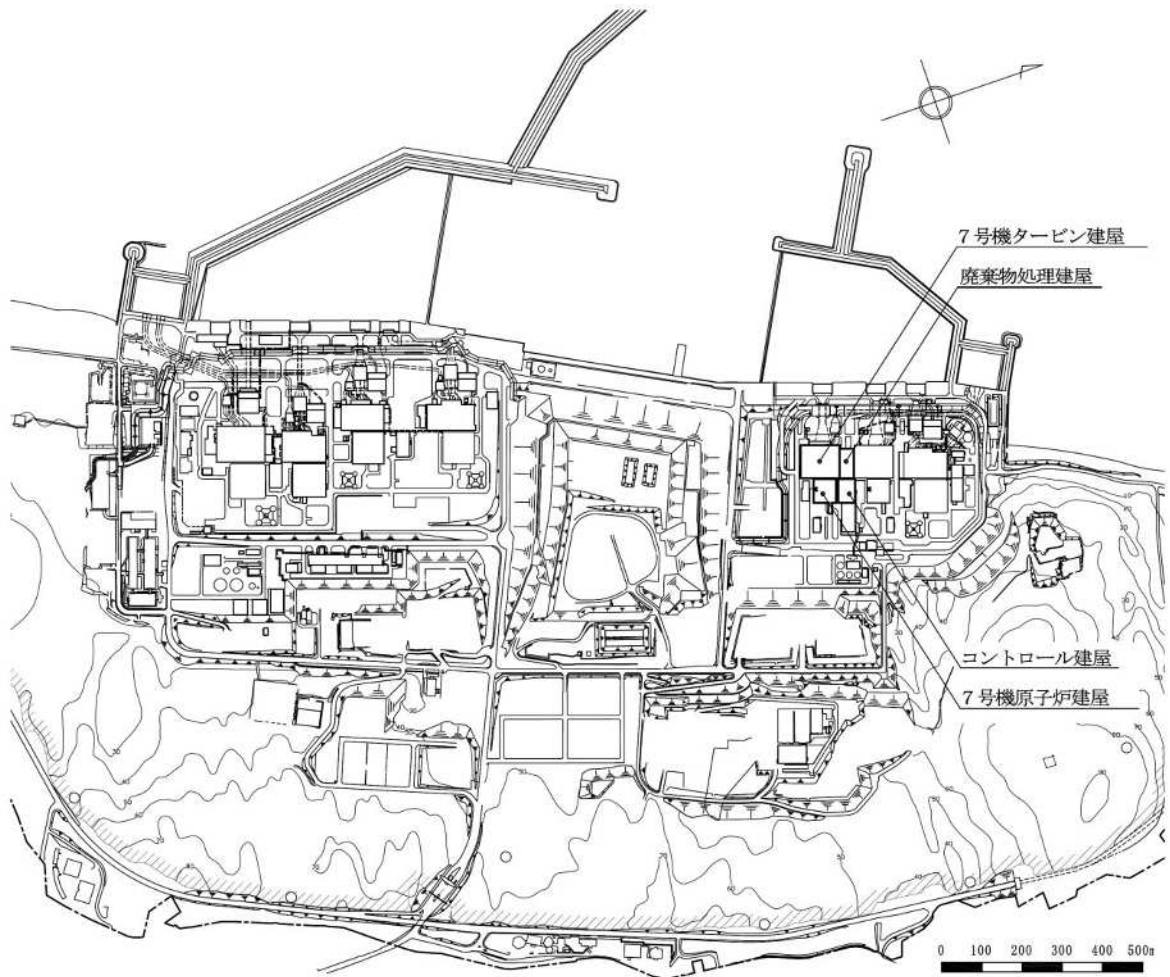
以下、廃棄物処理建屋の「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」としての分類に応じた耐震評価を示す。

なお、復水貯蔵槽の「Bクラスの施設」，「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」としての分類に応じた耐震評価は、V-2-5-5-1-2「復水貯蔵槽の耐震性についての計算書」にて実施する。

2. 基本方針

2.1 位置

廃棄物処理建屋の設置位置を図 2-1 に示す。



K7 ① V-2-2-12 R0

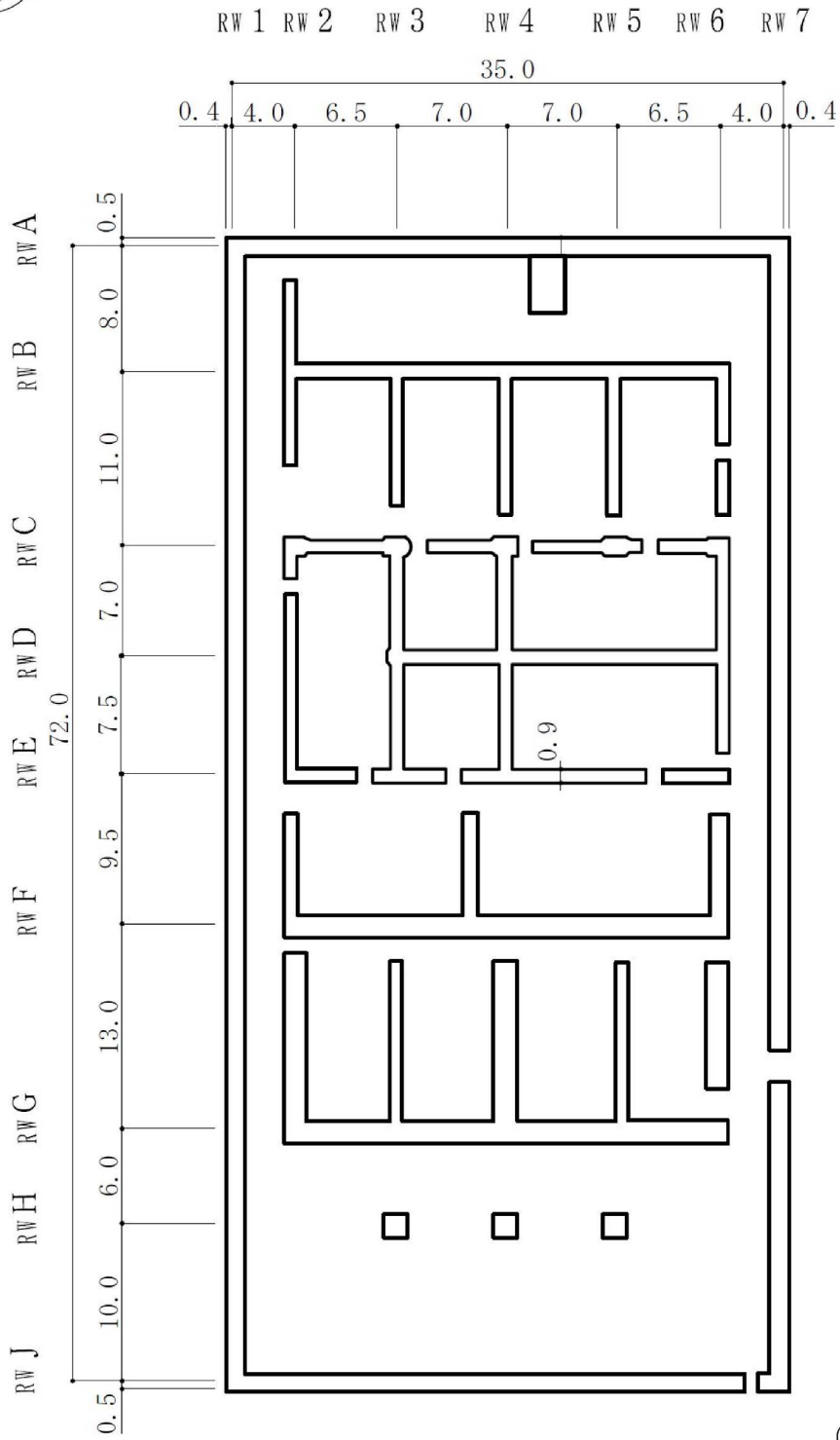
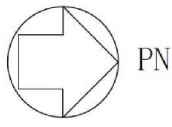
図 2-1 廃棄物処理建屋の設置位置

2.2 構造概要

廃棄物処理建屋は、地上2階（一部3階）、地下3階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、屋根部分が鉄骨造（トラス構造）となっている。廃棄物処理建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に示す。

廃棄物処理建屋の平面は、35.8m（NS方向）×73.0m（EW方向）である。基礎スラブ底面からの高さは52.9mであり、地上高さは32.3mである。また、廃棄物処理建屋は隣接する6号機タービン建屋、7号機タービン建屋及びコントロール建屋と構造的に分離している。

廃棄物処理建屋の基礎は厚さ2.5mのべた基礎で、支持地盤である泥岩上に設置している。



(単位：m)

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2-2 廃棄物処理建屋の概略平面図 (B3F, T.M.S.L. -6.1m) (1/8)

K7 ① V-2-2-12 R0

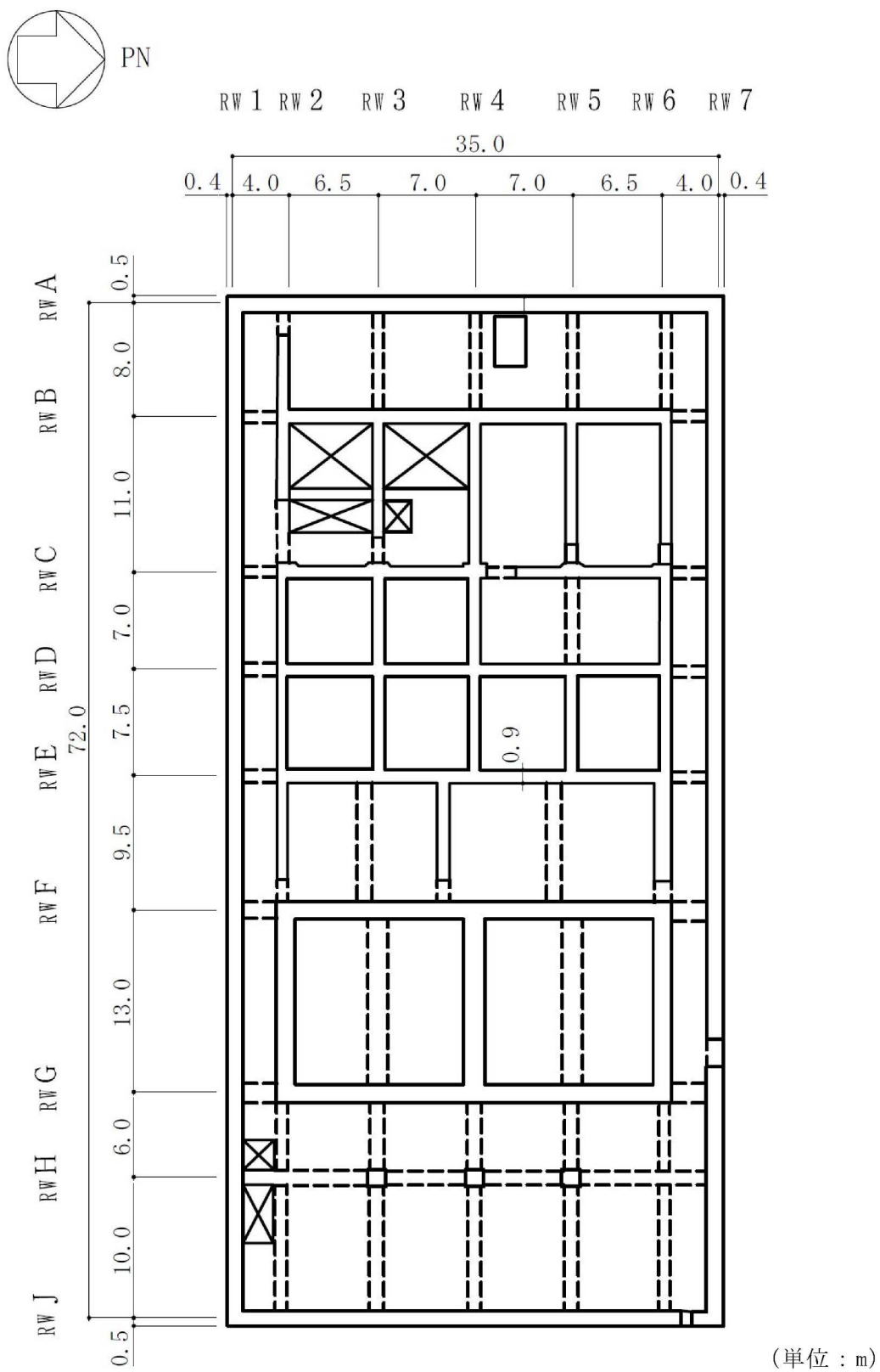


図 2-2 廃棄物処理建屋の概略平面図 (B2F, T.M.S.L. -1.1m) (2/8)

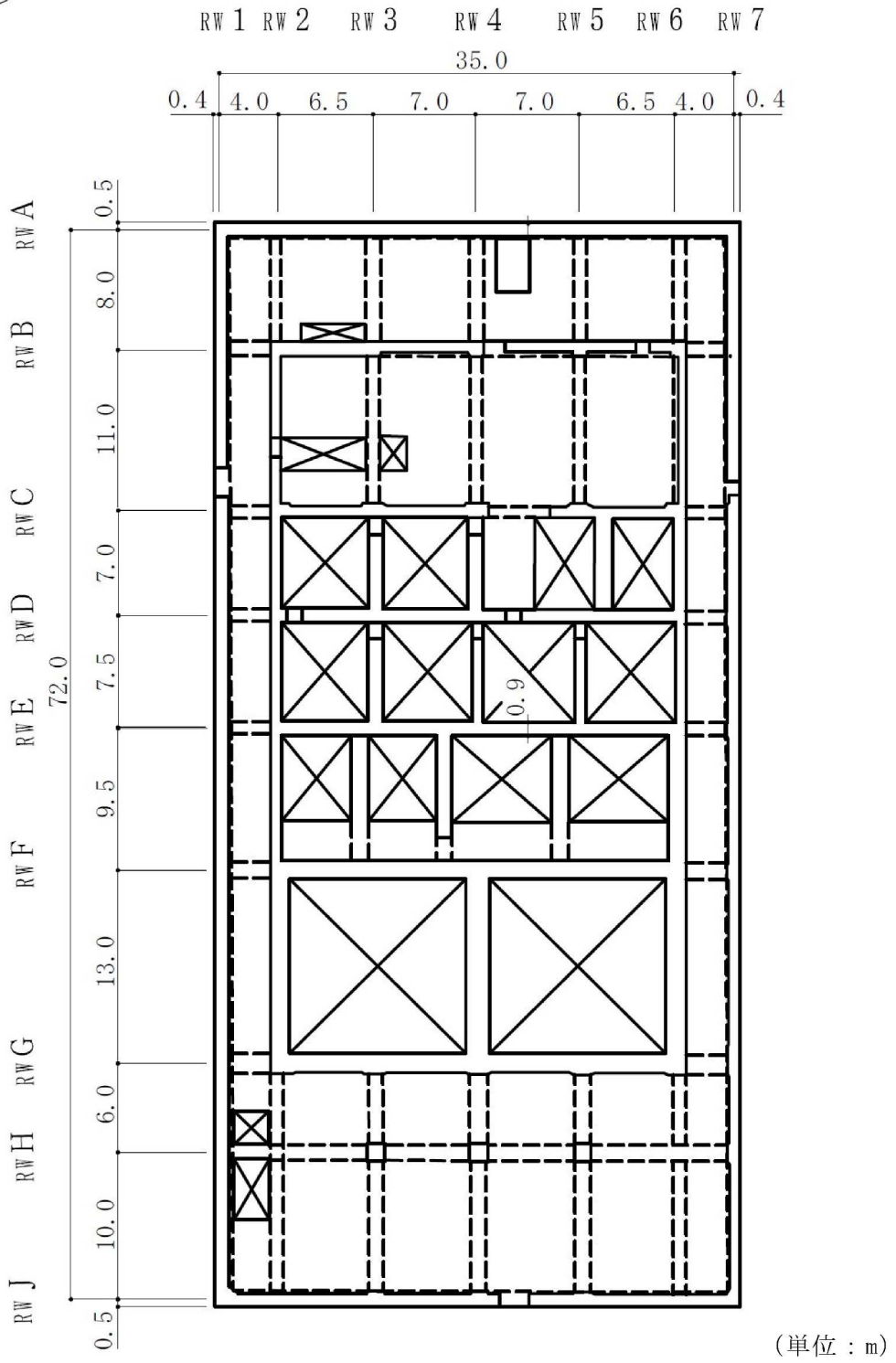
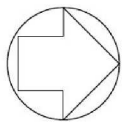


図 2-2 廃棄物処理建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 6.5m) (3/8)

K7 ① V-2-2-12 R0

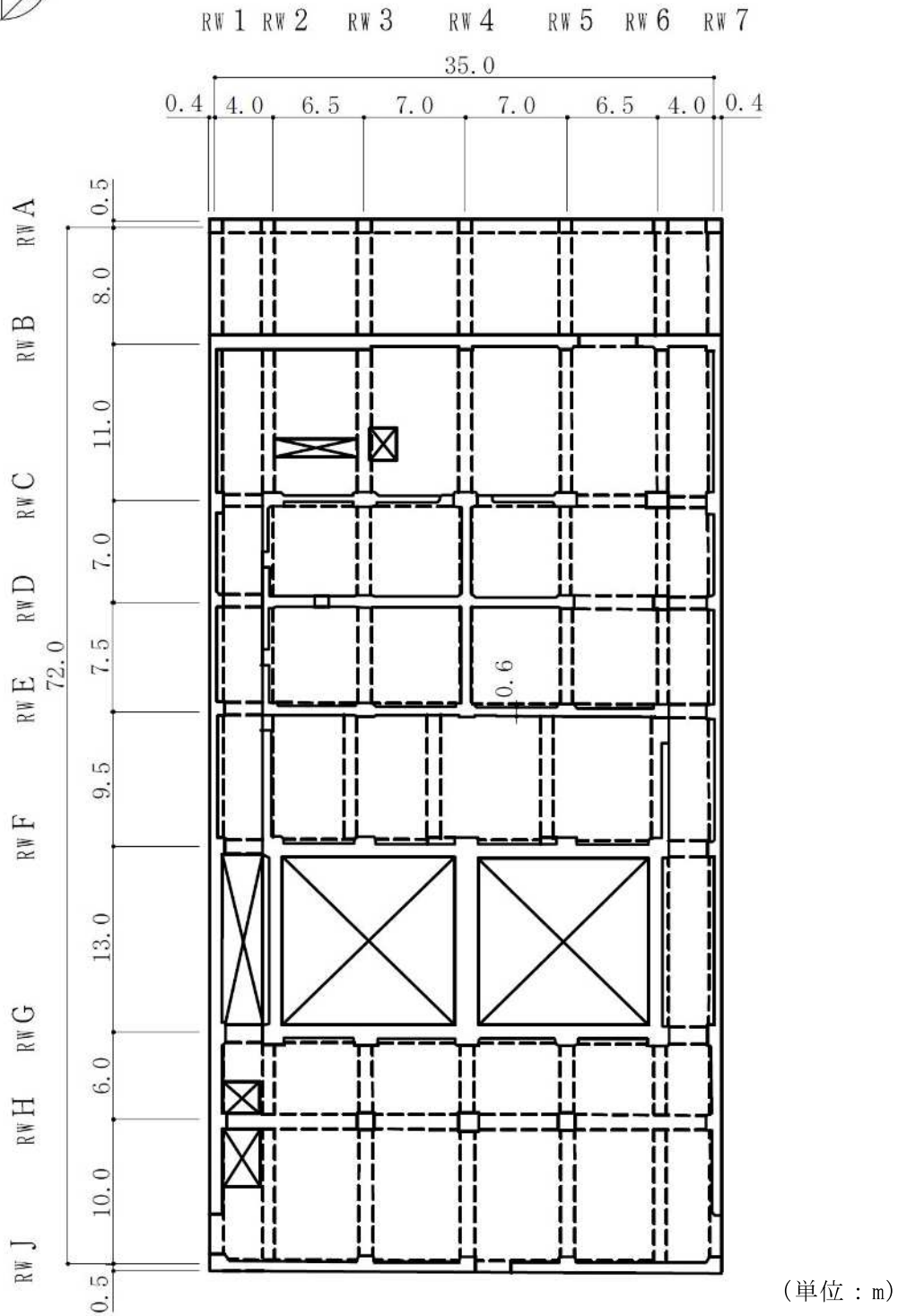
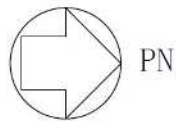
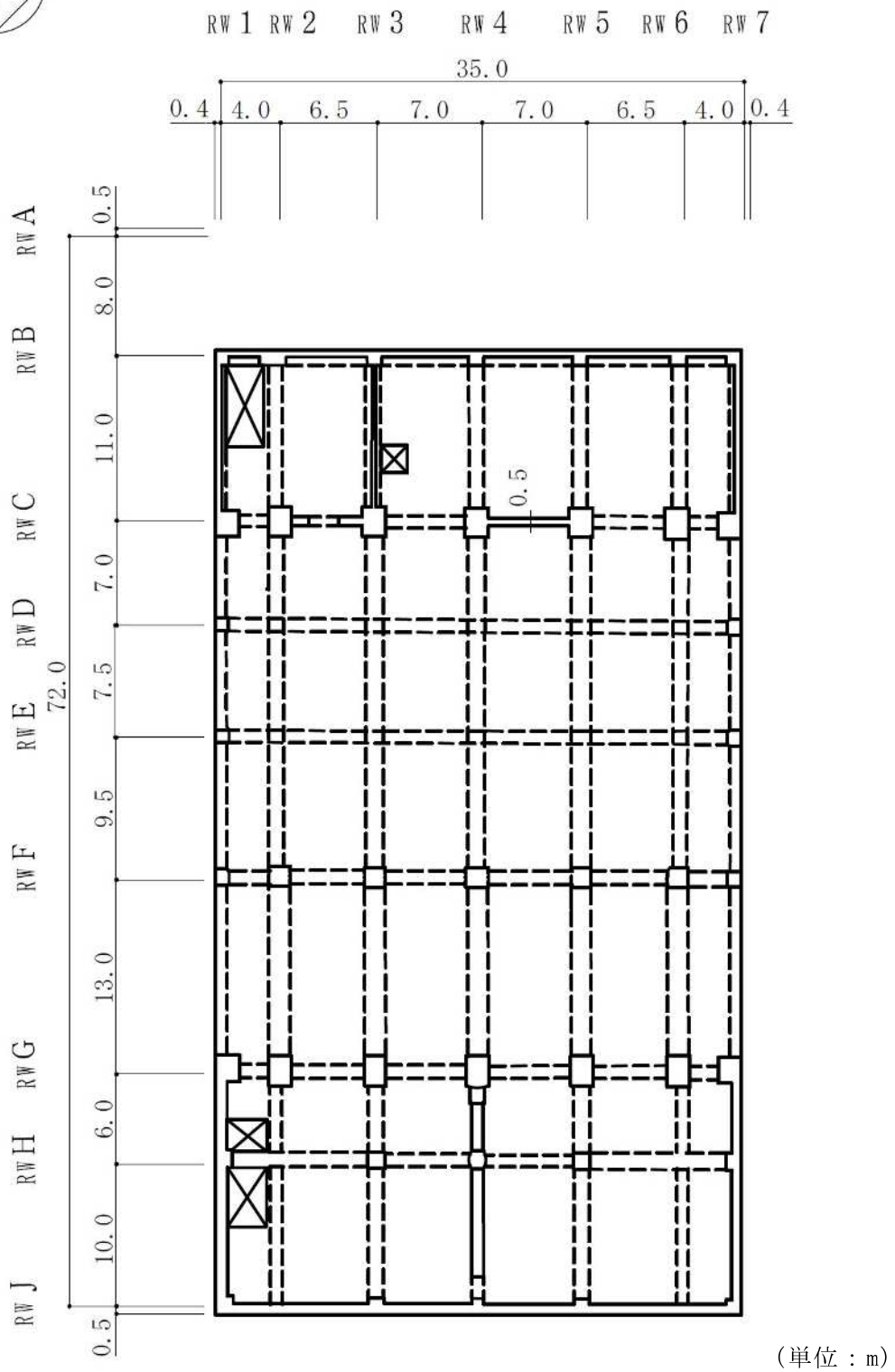
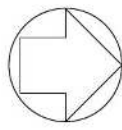


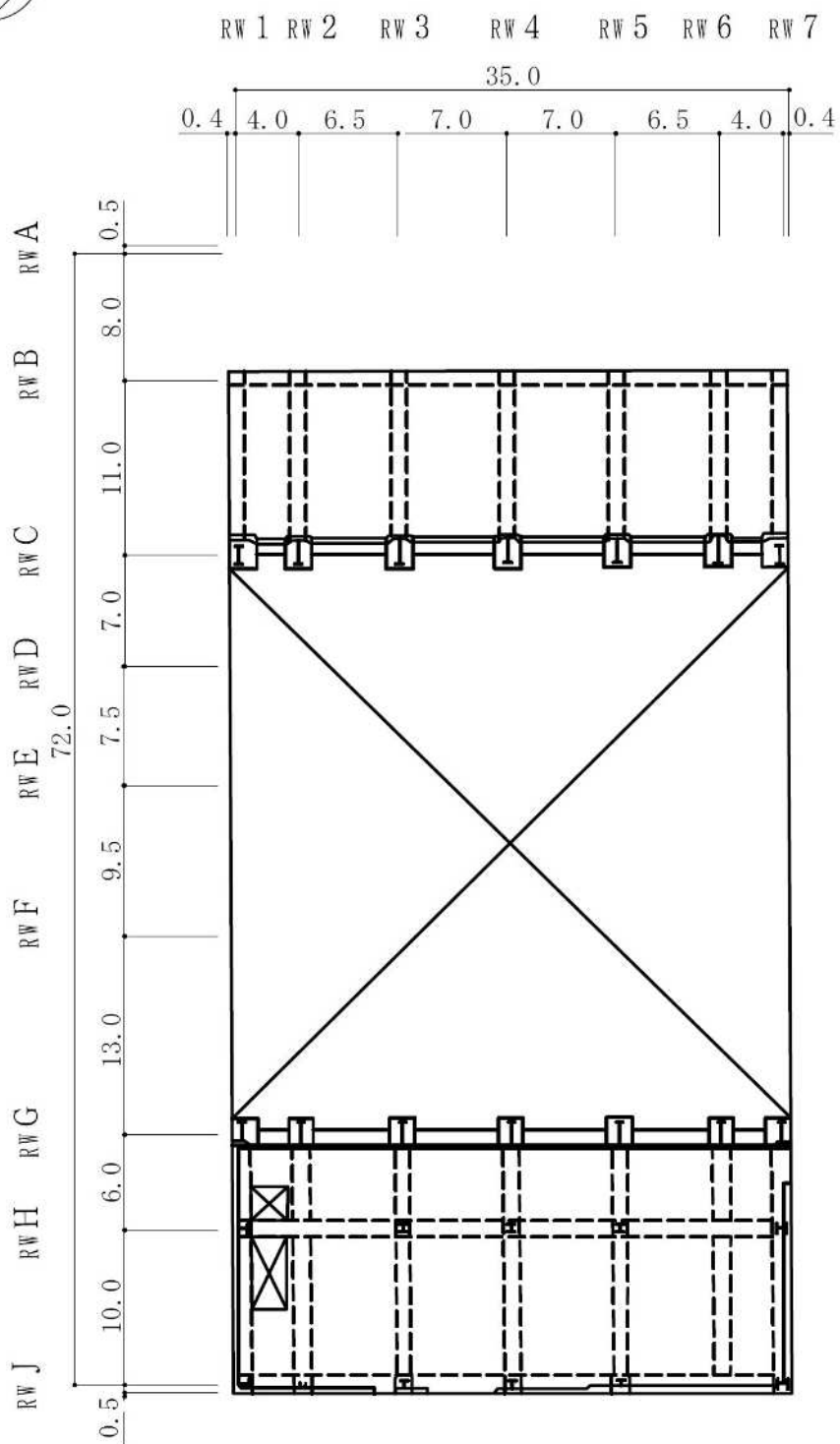
図 2-2 廃棄物処理建屋の概略平面図 (1F, T. M. S. L. 12.3m) (4/8)



(単位 : m)

図 2-2 廃棄物処理建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 20.4m) (5/8)

K7 ① V-2-2-12 R0



(単位 : m)

図 2-2 廃棄物処理建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 30.9m) (6/8)

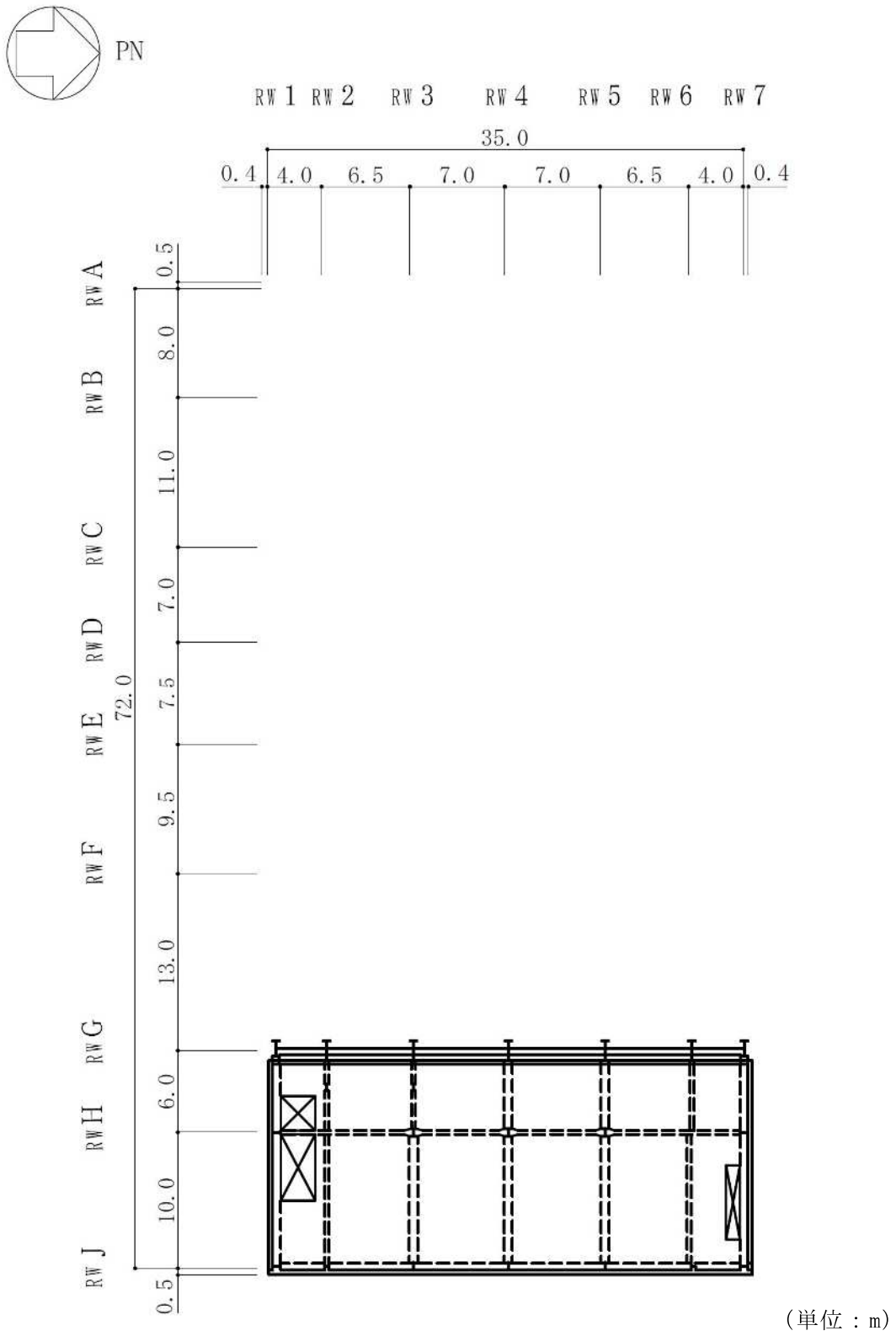


図 2-2 廃棄物処理建屋の概略平面図 (4F, T.M.S.L. 36.7m) (7/8)

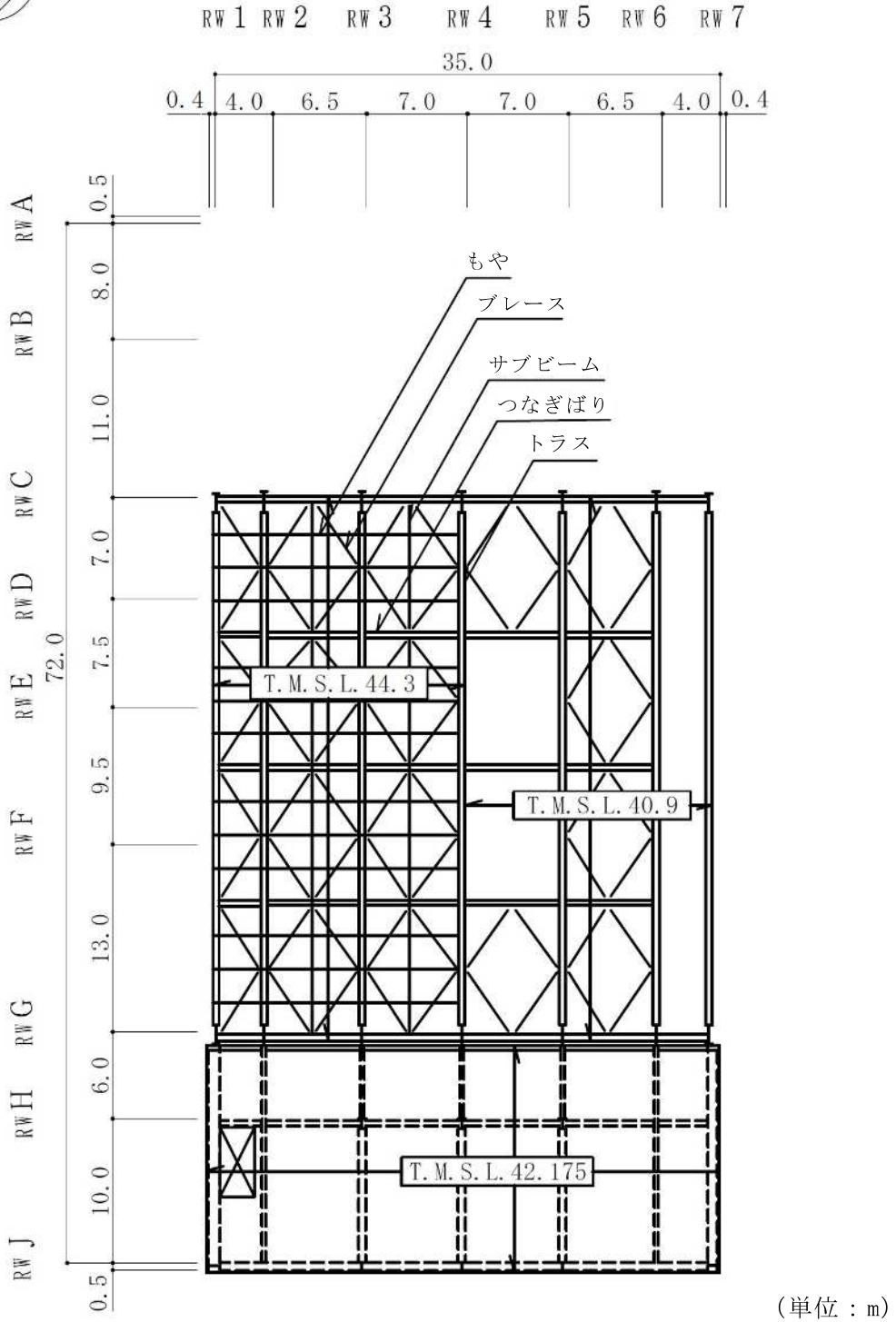
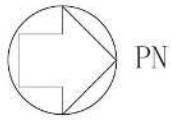
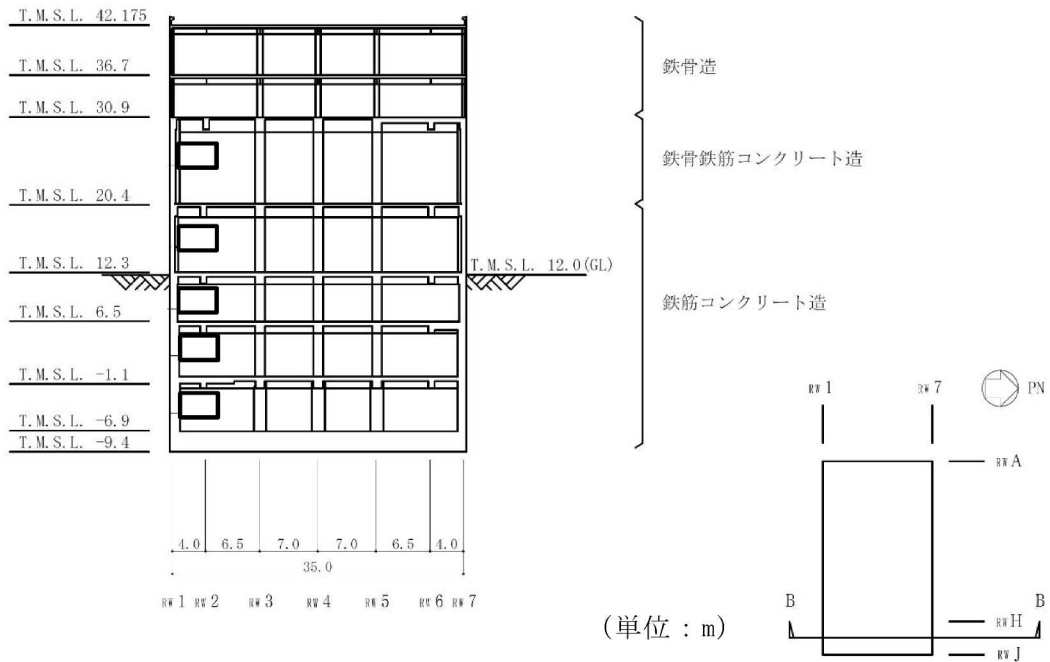
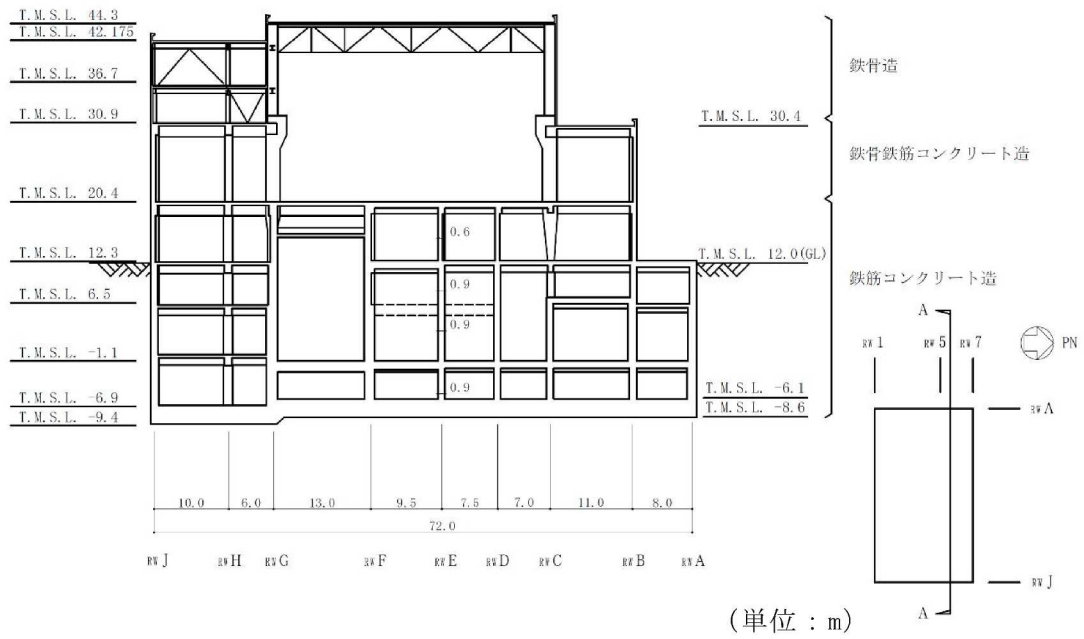


図 2-2 廃棄物処理建屋の概略平面図 (RF, T. M. S. L. 44.3m) (8/8)



NS 方向断面



EW 方向断面

図 2-3 廃棄物処理建屋の概略断面図

2.3 評価方針

廃棄物処理建屋は、建屋内部の一部に基準地震動 S_s に対して機能維持が要求される施設が収納されており、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。

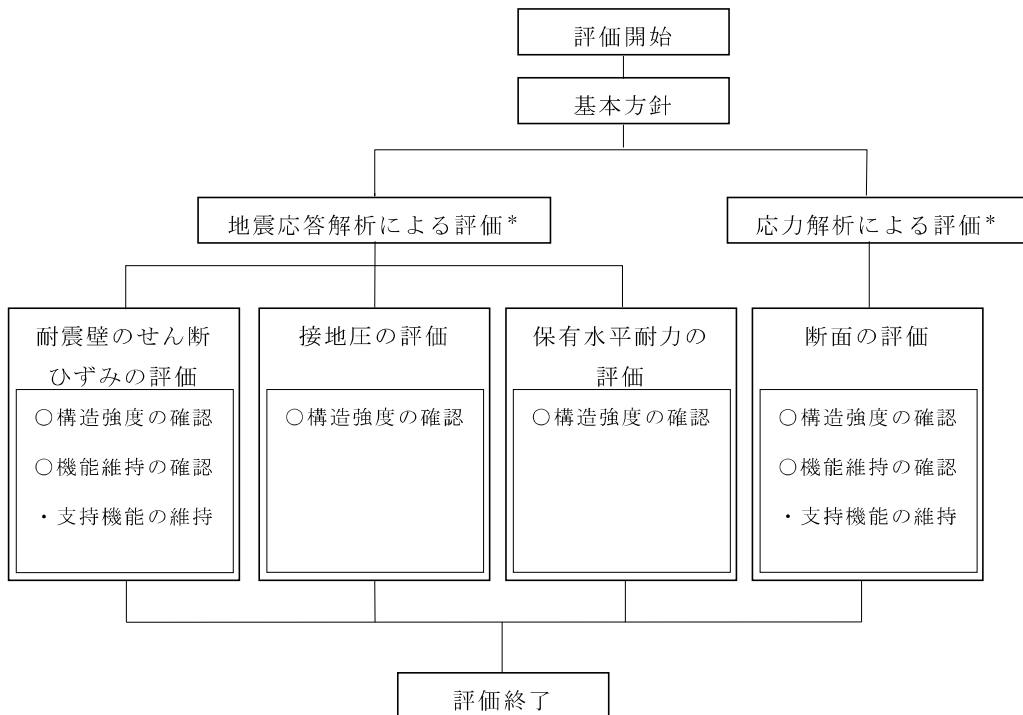
廃棄物処理建屋の評価においては、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）及び保有水平耐力の評価を行うこととし、それぞれの評価は、V-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。廃棄物処理建屋の評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては耐震壁のせん断ひずみ、接地圧及び保有水平耐力の評価を、応力解析による評価においては基礎スラブの断面の評価を行うことで、廃棄物処理建屋の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。なお、 S_s 地震時に対する評価による間接支持機能が要求される範囲は T.M.S.L. 20.4m 以下である。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。表 2-1 に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

図 2-4 に廃棄物処理建屋の評価フローを示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

| 検討ケース | コンクリート剛性 | 地盤剛性 |
|---|--|--|
| ①ケース 1 (工認モデル) | 実強度 (43.1N/mm ²) | 標準地盤 |
| ②ケース 2 (建屋剛性+ σ , 地盤剛性+ σ) | 実強度+ σ (46.0N/mm ²) | 標準地盤+ σ (新期 砂層+13%, 古安田層+25%,西山層+10%) |
| ③ケース 3 (建屋剛性- σ , 地盤剛性- σ) | 実強度- σ (40.2N/mm ²) | 標準地盤- σ (新期 砂層-13%, 古安田層-25%,西山層-10%) |
| ④ケース 4 (建屋剛性コア平均) | 実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²) | 標準地盤 |
| ⑤ケース 5 (建屋剛性-2 σ) | 実強度-2 σ (37.2N/mm ²) | 標準地盤 |

K7 ① V-2-2-12 R0



注記* : V-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-4 廃棄物処理建屋の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- 建築基準法・同施行令
- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999改定)
- 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005制定)
- 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)
- 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)
- 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)
- 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)

3. 地震応答解析による評価方法

廃棄物処理建屋の構造強度については、V-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大せん断ひずみ及び最大接地圧が許容限界を超えないこと並びに保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

また、支持機能の維持については、V-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における廃棄物処理建屋の許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持方針に基づき、表 3-1 のとおり設定する。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

| 要求機能 | 機能設計上の性能目標 | 地震力 | 部位 | 機能維持のための考え方 | 許容限界(評価基準値) |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------------|--|
| — | 構造強度を有すること | 基準地震動 S _s | 耐震壁* ¹ | 最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認 | せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³ |
| | | | 基礎地盤 | 最大接地圧が地盤の極限支持力度を超えないことを確認 | 極限支持力度* ² 6170 kN/m ² |
| | | 保有水平耐力 | 構造物全体 | 保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認 | 必要保有水平耐力 |
| 支持機能* ³ | 機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと | 基準地震動 S _s | 耐震壁* ¹ | 最大せん断ひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認 | せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³ |

注記*1 : 建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。また、V-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に補助壁を耐震要素とした地震応答解析を行っているため、評価対象部位には補助壁を含む。

*2 : 地盤の支持力試験の最大荷重に基づき設定する。

*3 : 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

4. 応力解析による評価方針

4.1 評価対象部位及び評価方針

廃棄物処理建屋の応力解析による評価対象部位は、基礎スラブとし、S s 地震時に対して以下の方針に基づき評価を行う。

S s 地震時に対する評価は、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析によることとし、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」（以下「RC-N 規準」という。）に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析にあたっては、V-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」より得られた結果を用いて、荷重の組合せを行う。また、断面の評価については、材料物性の不確かさを考慮した断面力に対して行うこととする。図 4-1 に応力解析による評価フローを示す。

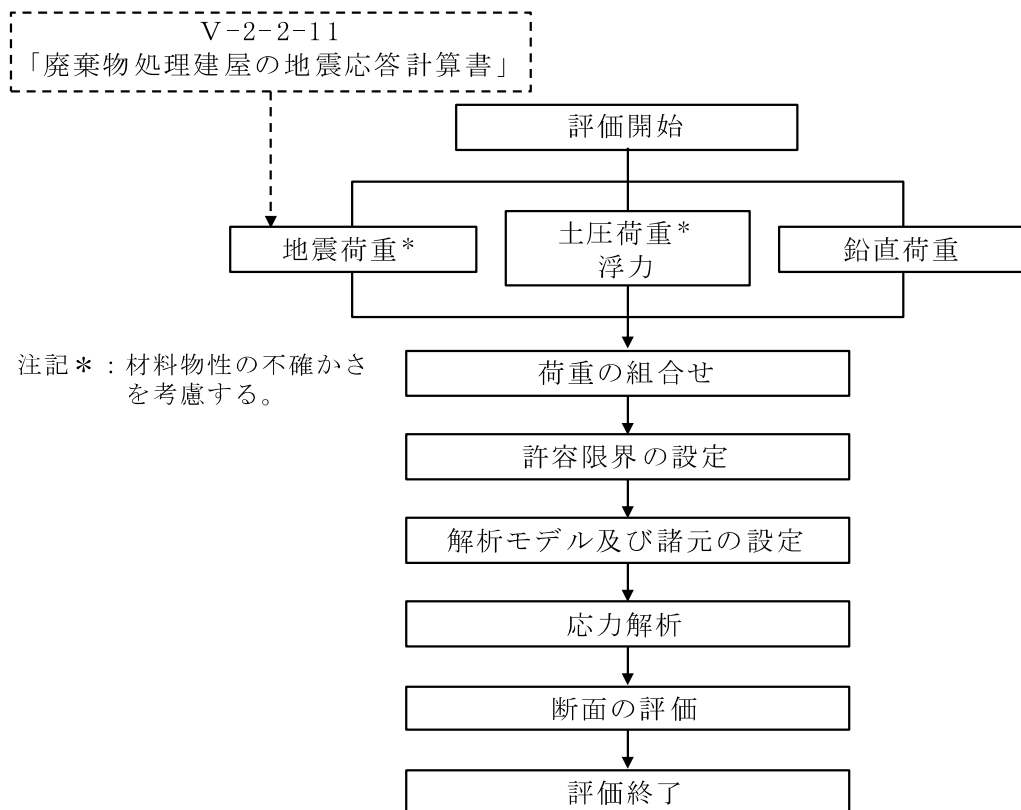


図 4-1 応力解析による評価フロー

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

4.2.1 荷重

(1) 鉛直荷重

鉛直荷重は固定荷重，機器荷重，配管荷重，積載荷重及び積雪荷重とする。なお，積雪量は170cmとし，地震荷重と組み合わせるため，その0.35倍の積雪荷重を考慮する。

(2) 水平地震荷重

水平地震荷重は，基準地震動 S_s による地震応答解析結果より設定する。なお，水平地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。表4-1に応力解析で考慮した基準地震動 S_s 時の水平地震荷重を示す。

(3) 鉛直地震荷重

鉛直地震荷重は，基準地震動 S_s による地震応答解析結果による基礎スラブ部分の最大鉛直震度を用いる。なお，最大鉛直震度は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。表4-2に応力解析で考慮した基準地震動 S_s 時の鉛直地震荷重を示す。

(4) 地震時土圧

地震時土圧は，常時土圧に地震時増分土圧を加えて算出する。地震時増分土圧は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を基にして「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）」の地震時増分土圧算定式から加力側増分土圧及び支持側増分土圧を包絡したものとする。図4-2に地震時土圧を示す。

(5) 浮力

浮力は，地下水位面を基礎スラブ上端（T.M.S.L. -6.1m）とし，基礎スラブに上向きの等分布荷重として入力する。

表 4-1 水平地震荷重

(a) NS 方向 (最大応答せん断力)

| 部材 番号 | ($\times 10^3$ kN) |
|----------|---------------------|
| 1 | 81.6 |
| 2 | 30.6 |
| 3 | 116 |
| 4 | 118 |
| 5 | 56.0 |
| 6 | 254 |
| 7 | 372 |
| 8 | 490 |
| 9 | 617 |

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した値を示す。

(b) EW 方向 (最大応答せん断力)

| 部材 番号 | ($\times 10^3$ kN) |
|----------|---------------------|
| 1 | 84.6 |
| 2 | 6.19 |
| 3 | 109 |
| 4 | 122 |
| 5 | 26.5 |
| 6 | 266 |
| 7 | 424 |
| 8 | 592 |
| 9 | 778 |

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した値を示す。

表 4-2 鉛直地震荷重

| | 鉛直軸力 ($\times 10^3$ kN) | 鉛直震度 |
|------|-----------------------------|------|
| 基礎下端 | 834 | 0.82 |

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した値を示す。

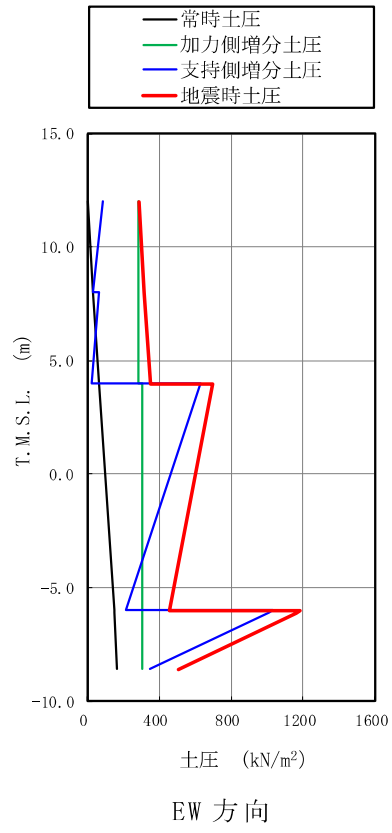


图 4-2 地震時土圧

4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-3 に示す。

表 4-3 荷重の組合せ

| 外力の状態 | 荷重の組合せ |
|---------|-------------------------|
| S s 地震時 | V L + S s + S O E + B L |

V L : 鉛直荷重

S s : 地震荷重

S O E : 土圧荷重

B L : 浮力

4.3 許容限界

応力解析による評価における基礎スラブの許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の方針に基づき、表 4-4 のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 4-5 及び表 4-6 に示す。

表 4-4 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

| 要求機能 | 機能設計上の性能目標 | 地震力 | 部位 | 機能維持のための考え方 | 許容限界 (評価基準値) |
|--------|---------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------------------|---------------------|
| — | 構造強度を有すること | 基準地震動 S _s | 基礎 スラブ | 部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認 | 「RC-N 規準」に基づく終局耐力*1 |
| 支持機能*2 | 機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと | 基準地震動 S _s | 基礎 スラブ | 部材に生じる応力が支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認 | 「RC-N 規準」に基づく終局耐力*1 |

注記*1：軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する評価については、「建築物の構造関係技術基準解説書」に基づき、鉄筋の引張強度を 1.1 倍とする。せん断力に対する評価については、短期許容応力度を適用する。

*2：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 4-5 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

| 設計基準強度 F _c | 圧縮 | せん断 |
|--------------------------|------|------|
| 29.4 | 19.6 | 1.17 |

表 4-6 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

| 種別 | 引張及び圧縮 | 面外せん断補強 |
|--------------------|--------|---------|
| SD35 (SD345 相当) | 345 | 345 |

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

応力解析は、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析とする。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

基礎スラブには、段差等による凹凸が存在するが、段差がない平板としてモデル化する。板厚は 2.5m とする。上部構造の剛性を考慮するために基礎スラブより上部の構造躯体もモデル化する。基礎スラブのモデル図を図 4-3 に示す。

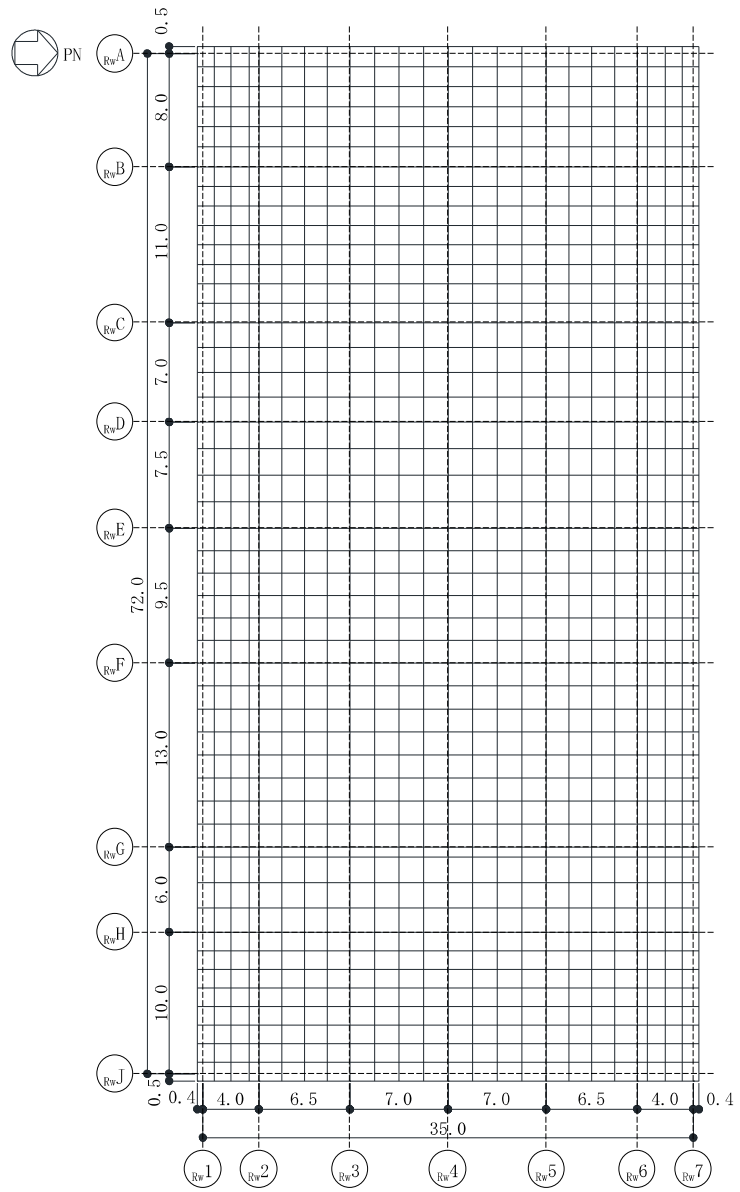
(2) 使用要素

解析モデルに使用する FEM 要素は、基礎スラブについてはシェル要素とする。また、基礎スラブより立ち上がっている耐震壁については、シェル要素、柱及びはりはり要素として剛性を考慮する。解析モデルの節点数は 15483、要素数は 22215 である。

(3) 境界条件

3次元 FEM モデルの基礎スラブ底面に、V-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを設ける。水平方向のばねについては、地震応答解析モデルのスウェイばねを、鉛直方向のばねについては、地震応答解析モデルのロッキングばねを基に設定を行う。

なお、基礎スラブ底面の地盤ばねについては、引張力が発生した時に浮上りを考慮する。



(単位：m)

図 4-3 基礎スラブの解析モデル図

4.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-7 及び表 4-8 に示す。

表 4-7 コンクリートの物性値

| 諸元 | 物性値 |
|-------|-----------------------------------|
| ヤング係数 | $2.79 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ |
| ポアソン比 | 0.2 |

注：剛性はコンクリートの実強度 (39.2 N/mm^2) に基づく

表 4-8 鉄筋の物性値

| 諸元 | 物性値 |
|-------|-----------------------------------|
| 鋼材種 | SD35 (SD345 相当) |
| ヤング係数 | $2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ |

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

廃棄物処理建屋基礎スラブについて、 S_s 地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

| | |
|--------------|--------------------------|
| V_L | : 鉛直荷重 |
| $S_{S_{SN}}$ | : 水平地震荷重 (S→N 入力, NS 方向) |
| $S_{S_{NS}}$ | : 水平地震荷重 (N→S 入力, NS 方向) |
| $S_{S_{EW}}$ | : 水平地震荷重 (E→W 入力, EW 方向) |
| $S_{S_{WE}}$ | : 水平地震荷重 (W→E 入力, EW 方向) |
| K_v | : 鉛直震度 |
| S_{OE} | : 土圧荷重 |
| B_L | : 浮力 |

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-9 に示す。

水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規定 J E A C 4 6 0 1 -2008 ((社) 日本電気協会)」を参考に、組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。また、基礎スラブの応力は、水平方向の地震力に対して得られる応力及び鉛直方向の地震力に対して得られる応力を個別に算定し、それらを組み合わせることにより算定する。なお、誘発上下動を考慮しない組合せ係数法が保守的な評価となることを確認しているため、基礎スラブの応力解析においては、誘発上下動を考慮しないこととした。

表 4-9 荷重の組合せケース

| ケース No. | 水平：鉛直 | 鉛直震度 | 荷重の組合せケース |
|---------|-----------|------|--|
| 1 | 1.0 : 0.4 | 下向き | $(1.0 + 0.4K_v) V L + S s_{SN} + S O E + B L$ |
| 2 | | 上向き | $(1.0 - 0.4K_v) V L + S s_{SN} + S O E + B L$ |
| 3 | | 下向き | $(1.0 + 0.4K_v) V L + S s_{NS} + S O E + B L$ |
| 4 | | 上向き | $(1.0 - 0.4K_v) V L + S s_{NS} + S O E + B L$ |
| 5 | | 下向き | $(1.0 + 0.4K_v) V L + S s_{WE} + S O E + B L$ |
| 6 | | 上向き | $(1.0 - 0.4K_v) V L + S s_{WE} + S O E + B L$ |
| 7 | | 下向き | $(1.0 + 0.4K_v) V L + S s_{EW} + S O E + B L$ |
| 8 | | 上向き | $(1.0 - 0.4K_v) V L + S s_{EW} + S O E + B L$ |
| 9 | 0.4 : 1.0 | 下向き | $(1.0 + K_v) V L + 0.4 S s_{SN} + 0.4 S O E + B L$ |
| 10 | | 上向き | $(1.0 - K_v) V L + 0.4 S s_{SN} + 0.4 S O E + B L$ |
| 11 | | 下向き | $(1.0 + K_v) V L + 0.4 S s_{NS} + 0.4 S O E + B L$ |
| 12 | | 上向き | $(1.0 - K_v) V L + 0.4 S s_{NS} + 0.4 S O E + B L$ |
| 13 | | 下向き | $(1.0 + K_v) V L + 0.4 S s_{WE} + 0.4 S O E + B L$ |
| 14 | | 上向き | $(1.0 - K_v) V L + 0.4 S s_{WE} + 0.4 S O E + B L$ |
| 15 | | 下向き | $(1.0 + K_v) V L + 0.4 S s_{EW} + 0.4 S O E + B L$ |
| 16 | | 上向き | $(1.0 - K_v) V L + 0.4 S s_{EW} + 0.4 S O E + B L$ |

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

地震荷重は，上部構造物の慣性力を考慮する。基礎スラブ底面に生じる反力が，基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果と等価になるように設定する。基礎スラブ内に作用する荷重は， S_s 地震時の上部構造による入力荷重と基礎スラブ底面に発生する荷重の差を FEM モデルの各要素の大きさに応じて分配し，節点荷重として入力する。

b. 地震荷重以外の荷重

地震荷重以外の荷重については，FEM モデルの各節点又は各要素に，集中荷重又は分布荷重として入力する。

4.5.2 断面の評価方法

(1) 軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する断面の評価方法

各断面は、鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として評価し、評価対象部位に生じる軸力と曲げモーメントによる必要鉄筋量と、面内せん断力による必要鉄筋量の和が設計配筋量を超えないことを確認する。必要鉄筋量(A)は、「RC-N規準」に基づき、各要素の縦方向と横方向の軸力及び曲げモーメントに対して必要となる片側鉄筋量(A_t)を柱の許容応力度設計式を用いて算定し、これと面内せん断力に対して必要となる全鉄筋量(A_s)により、下式によって算定する。ただし、面内せん断力に対しては、コンクリートの許容応力を超えなければ必要鉄筋量を加算しない。なお、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する必要鉄筋量は、「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)」に基づき、鉄筋の引張強度を1.1倍として算定する。

$$A = A_t + A_s / 2$$

(2) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N 規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot {}_w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 4-5 に示す値 (N/mm²)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。また、引張軸力が 2N/mm² を超える場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

${}_w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 4-6 に示す値 (N/mm²)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm²)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

5. 地震応答解析による評価結果

5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について、Ss地震時の各層の最大せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

材料特性の不確かさを考慮した最大せん断ひずみは 0.178×10^{-3} (NS 方向, Ss-8, ケース 5) であり、許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。各階の耐震壁の最大せん断ひずみ一覧を表 5-1 及び表 5-2 に示す。各表において、各階の最大せん断ひずみのうち最も大きい値について、せん断スケルトン曲線上にプロットした図を図 5-1 に示す。

表 5-1 耐震壁の最大せん断ひずみ (NS 方向)

| T. M. S. L. (m) | 地震応答解析 モデルの部材 番号 | 最大せん断 ひずみ ($\times 10^{-3}$) | 許容限界 ($\times 10^{-3}$) |
|--------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 20.4~12.3 | 6 | 0.113 | 2.0 |
| 12.3~6.5 | 7 | 0.118 | |
| 6.5~-1.1 | 8 | 0.140 | |
| -1.1~-6.1 | 9 | 0.178 | |

注：ハッチングは各階の最大せん断ひずみのうち最も大きい値を表示

表 5-2 耐震壁の最大せん断ひずみ (EW 方向)

| T. M. S. L. (m) | 地震応答解析 モデルの部材 番号 | 最大せん断 ひずみ ($\times 10^{-3}$) | 許容限界 ($\times 10^{-3}$) |
|--------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 20.4~12.3 | 6 | 0.123 | 2.0 |
| 12.3~6.5 | 7 | 0.111 | |
| 6.5~-1.1 | 8 | 0.135 | |
| -1.1~-6.1 | 9 | 0.163 | |

注：ハッチングは各階の最大せん断ひずみのうち最も大きい値を表示

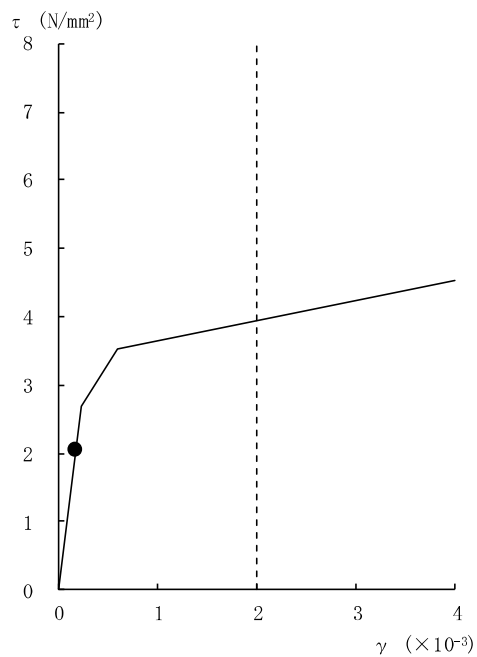


図 5-1 せん断スケルトン曲線上の最大せん断ひずみ (1/2)
(NS 方向, Ss-8, ケース 5, 部材 9)

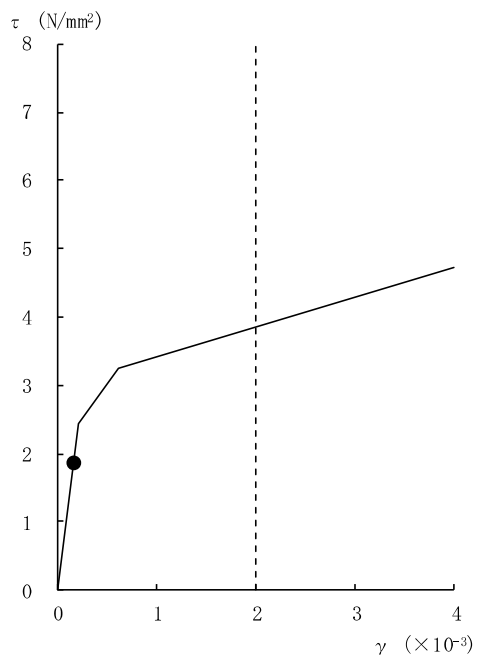


図 5-1 せん断スケルトン曲線上の最大せん断ひずみ (2/2)
(EW 方向, Ss-2, ケース 5, 部材 9)

5.2 接地圧の評価結果

S s 地震時の最大接地圧が、地盤の極限支持力度（6170kN/m²）を超えないことを確認する。

材料特性の不確かさを考慮した S s 地震時の最大接地圧は 4090kN/m² であることから、地盤の極限支持力度を超えないことを確認した。

地震時の最大接地圧を表 5-3 に示す。

表 5-3 最大接地圧

| | NS 方向* | EW 方向 |
|--------------------------------------|-------------|-------------|
| 検討ケース | Ss-8, ケース 3 | Ss-2, ケース 4 |
| 鉛直力 N (×10 ⁵ kN) | 16.1 | 12.3 |
| 転倒モーメント M (×10 ⁶ kN・m) | 15.7 | 19.4 |
| 最大接地圧 (kN/m ²) | 4090 | 1180 |

注記*：誘発上下動を考慮

5.3 保有水平耐力の評価結果

各層において、保有水平耐力 Q_u が必要保有水平耐力 Q_{un} に対して妥当な安全余裕を有していることを確認する。なお、各要素の保有水平耐力 Q_u は平成 4 年 10 月 13 日付け 4 資庁第 8732 号にて認可された工事計画の添付資料「IV-2-2-2 廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書」による。

必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果を表 5-4 に示す。各層において保有水平耐力 Q_u が必要保有水平耐力 Q_{un} に対して妥当な安全余裕を有していることを確認した。なお、必要保有水平耐力 Q_{un} に対する保有水平耐力 Q_u の比は最小で 1.25 である。

表 5-4 必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果 (1/2)
(NS 方向)

| T. M. S. L. (m) | NS方向 | | |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------|
| | Q_{un} ($\times 10^3$ kN) | Q_u ($\times 10^3$ kN) | Q_u/Q_{un} |
| 44.3 ～ 36.7 | 76.20 | 130.13 | 1.71 |
| 36.7 ～ 30.9 | 106.01 | 159.06 | 1.50 |
| 30.9 ～ 20.4 | 108.66 | 173.58 | 1.60 |
| 20.4 ～ 12.3 | 167.50 | 458.26 | 2.74 |
| 12.3 ～ 6.5 | 304.40 | 845.14 | 2.78 |
| 6.5 ～ -1.1 | 346.57 | 938.79 | 2.71 |
| -1.1 ～ -6.1 | 353.92 | 896.13 | 2.53 |

表 5-4 必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果 (2/2)
(EW 方向)

| T. M. S. L. (m) | EW方向 | | |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------|
| | Q_{un} ($\times 10^3$ kN) | Q_u ($\times 10^3$ kN) | Q_u/Q_{un} |
| 44.3 ~ 36.7 | 92.87 | 117.78 | 1.27 |
| 36.7 ~ 30.9 | 126.60 | 166.32 | 1.31 |
| 30.9 ~ 20.4 | 136.21 | 169.85 | 1.25 |
| 20.4 ~ 12.3 | 157.99 | 410.60 | 2.60 |
| 12.3 ~ 6.5 | 218.59 | 883.19 | 4.04 |
| 6.5 ~ -1.1 | 284.49 | 1085.30 | 3.81 |
| -1.1 ~ -6.1 | 350.69 | 1174.54 | 3.35 |

6. 応力解析による評価結果

廃棄物処理建屋の基礎スラブの配筋領域図を図 6-1 及び図 6-2 に、配筋一覧を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

断面の評価結果を記載する要素を、以下のとおり選定する。

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する評価並びに面外せん断力に対する評価については、発生値に対する許容限界の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

評価結果を表 6-3 に、選定した要素の位置を図 6-3 に示す。

S s 地震時において、軸力と曲げモーメントによる必要鉄筋量と面内せん断力による必要鉄筋量の和が設計配筋量を超えないこと並びに面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

表 6-1 基礎スラブの配筋一覧

| | 一段目 | 二段目 | 断面積 (mm ² /m) |
|------|---------|---------|-----------------------------|
| 領域 A | D38@200 | — | 5700 |
| 領域 B | D38@200 | D38@400 | 8550 |
| 領域 C | D38@200 | D38@200 | 11400 |

注：NS 方向，EW 方向，上ば筋，下ば筋共

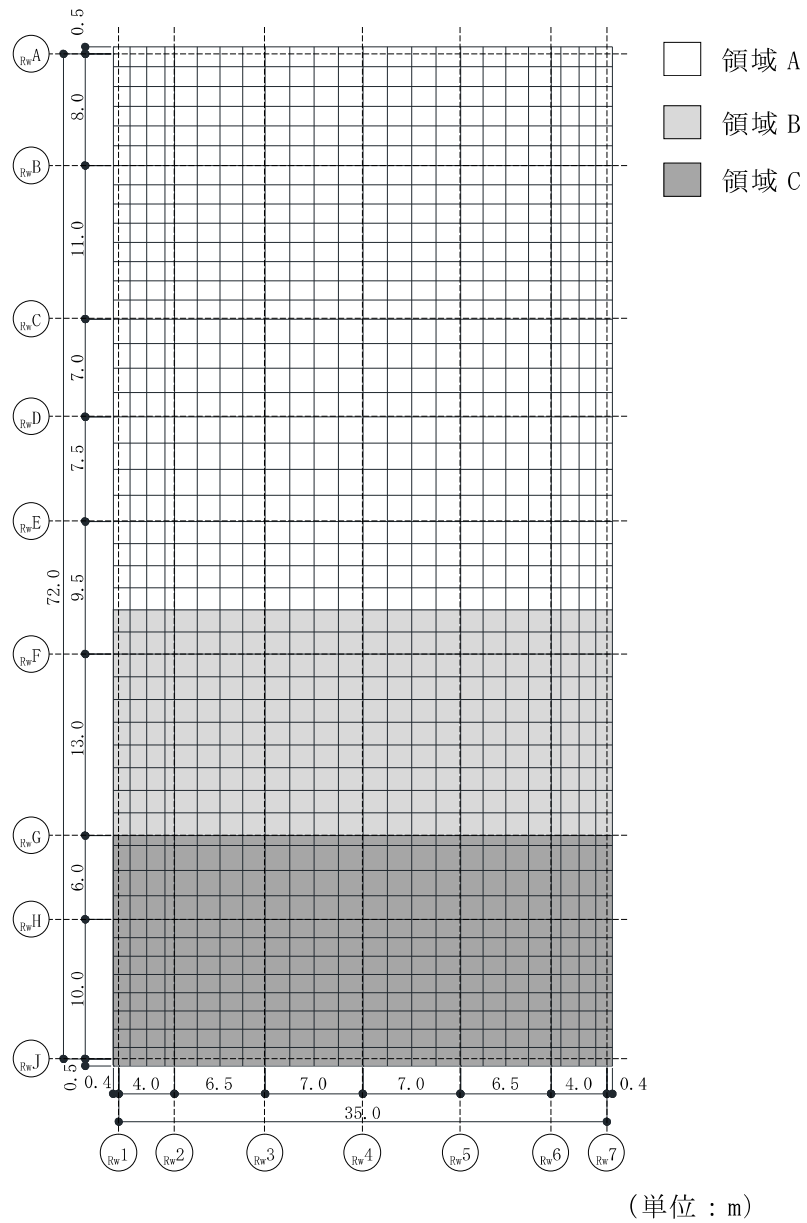
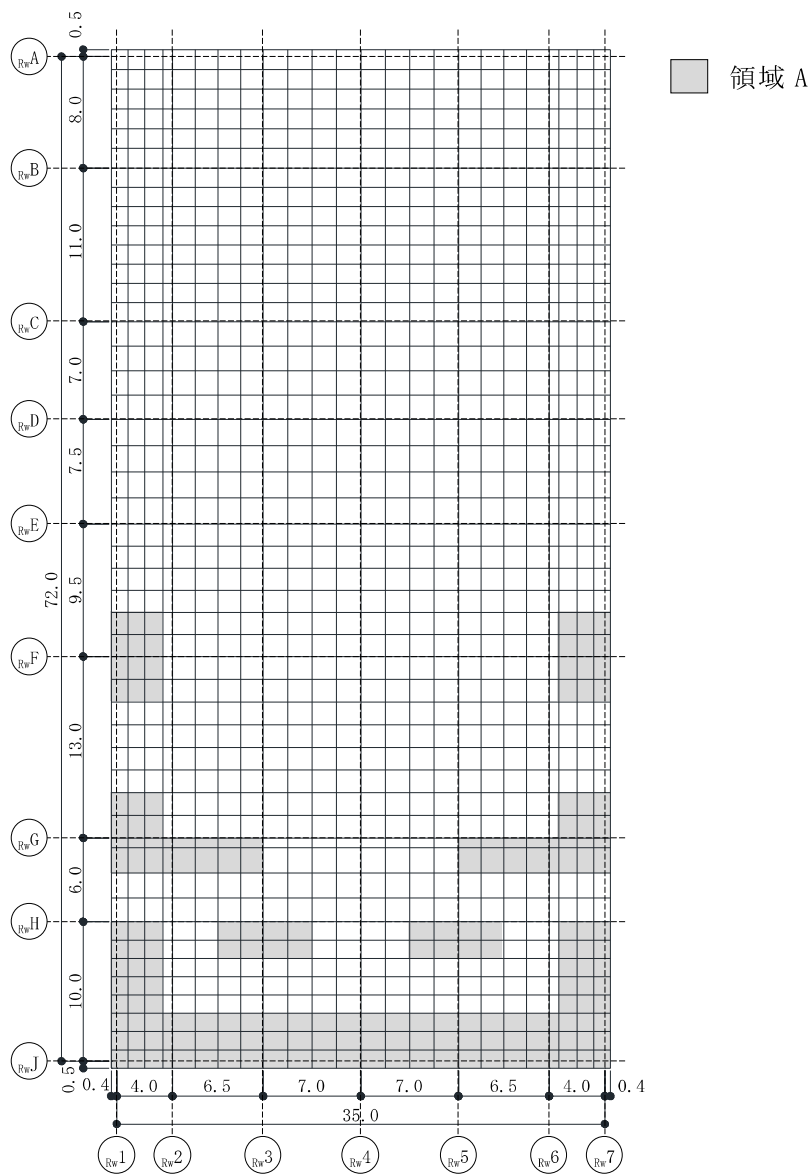


図 6-1 基礎スラブの配筋領域図

表 6-2 基礎スラブの配筋 (せん断補強筋)

| | 鉄筋 | ピッチ | 断面積 (mm ² /m) |
|------|-----|-----------|-----------------------------|
| 領域 A | D22 | @400×@400 | 2419 |



(単位 : m)

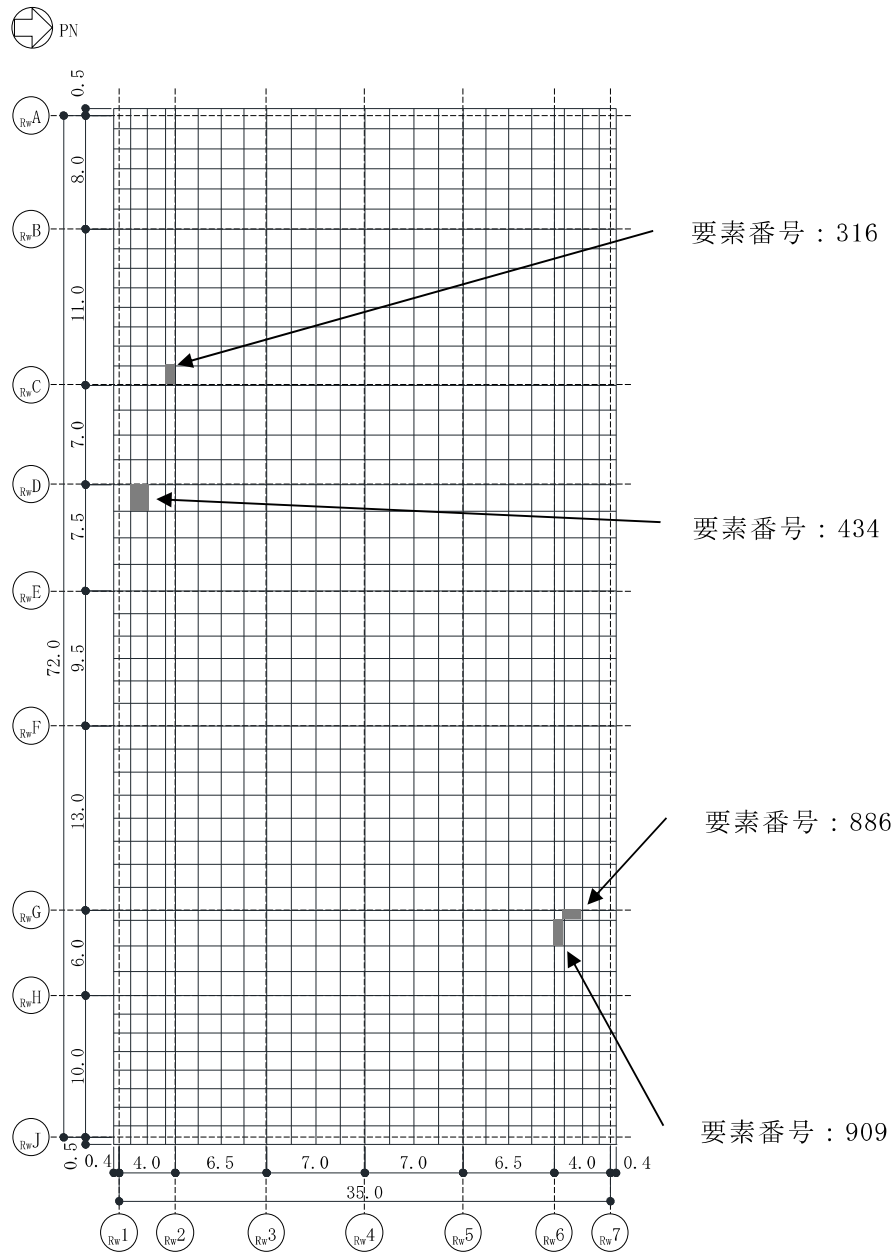
図 6-2 基礎スラブの配筋領域図 (せん断補強筋)

表 6-3 最大値一覧

| 項目 | 方向 | 評価項目 | 要素 番号 | 荷重 ケース | 解析 結果*1 | 許容 限界*1 |
|-----------------------------------|----|------------------|----------|-----------|------------|------------|
| 軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力 | NS | 必要鉄筋量 /設計配筋量 | 434 | 3 | 0.745 | 1.00 |
| | EW | | 886 | 1 | 0.775 | 1.00 |
| 面外せん断力 | NS | 面外せん断力 (kN/m) | 316 | 3 | 4585*2 | 4836 |
| | EW | | 909 | 1 | 4627*2 | 4985 |

注記*1：軸力+曲げモーメント+面内せん断力の解析結果及び許容限界は検定値を記載

*2：応力の再配分を考慮して、応力の平均化を行った結果



(单位：m)

图 6-3 最大值発生位置

別紙 13 MSC NASTRAN

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|-------------|---------------------|-----------------|
| V-2-2-6 | タービン建屋の耐震性についての計算書 | Ver. 2012. 1. 0 |
| V-2-2-12 | 廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書 | Ver. 2012. 1. 0 |
| V-2-5-5-1-2 | 復水貯蔵槽の耐震性についての計算書 | Ver. 2012. 1. 0 |

2. 解析コードの概要

2.1 MSC NASTRAN Ver. 2012.1.0

| 項目 \ コード名 | MSC NASTRAN |
|---|--|
| 使用目的 | 3次元有限要素法による応力解析（弾性） 有限要素法による応力解析 |
| 開発機関 | MSC Software Corporation |
| 開発時期 | 1971年（一般商業用リリース） |
| 使用したバージョン | Ver. 2012.1.0 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>本解析コードは、タービン建屋他の3次元有限要素法による応力解析に使用している。</p> <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・等分布面荷重を作用させた平板の最大変位について、本解析コードで応力解析を行った解析解と、S.Timoshenkoの理論式による理論解を比較し、解析解と理論解が概ね一致していることを確認した。 ・材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、3次元有限要素法による応力解析を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認した。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none">・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。・応力解析に対して、一般産業界において、全世界 40 ヶ国、約 4,000 件の多数のプロジェクトの解析で使用実績のある M I D A S を用いた解析解と、本解析コードによる解析解を比較したベンチマーキングを行った結果、双方の解が概ね一致していることを確認した。・原子力産業界において、日本原燃株式会社の「ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加工施設に係る設計及び工事」で、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加工施設（M O X 燃料加工施設）のうち燃料加工建屋に対する応力解析に本解析コードが使用された実績がある。・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから、検証結果をもって、解析機能の妥当性も確認できる。・今回の工事計画認可申請において、使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。・検証の内容のとおり、応力解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。 |
|--|--|