
柏崎刈羽原子力発電所 7号機
建物・構築物の耐震安全性評価について
(RCCV)

平成20年12月3日

東京電力株式会社

・コンクリート製原子炉格納容器（RCCV） の耐震安全性評価

RCCVの検討概要（１）

■ R C C V の検討概要（１）

- ・ R C C V の構造の検討は、（社）日本機械学会「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NE1-2003」（C C V規格）の規定に従う。
- ・ 設計時から変更のない死荷重および活荷重、運転時荷重、異常時荷重に加え、今回新たに算定する地震荷重を組合せた荷重に対して、弾性設計用地震動 S_d による地震荷重については弾性解析を、基準地震動 S_s については、弾塑性解析を実施し、各荷重時の発生応力を算定する。

RCCVの検討概要（2）

■ RCCVの検討概要（2）

- ・ 弾性設計用地震動 S_d および基準地震動 S_s による地震荷重については、下表に示す組合せを考慮する。
- ・ 水平地震動と鉛直地震動の荷重の組み合わせは、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により評価する。

地震時荷重の組合せ

荷重状態	荷重時名称	荷重の組合せ
	地震時(1)	$DL_1+P_1+T_{11}+H_1+K_1+R_{41}$
	地震時(2)	$DL_2+T_{12}+K_1+R_{41}$
	(異常+地震)時	$DL_1+P_{25}+T_{25}+K_1+R_{41}$
	地震時(3)	$DL_1+P_1+H_1+K_2+R_{42}$
	地震時(4)	$DL_2+K_2+R_{42}$

DL_1 ：死荷重および活荷重
（運転時）

DL_2 ：死荷重および活荷重
（燃料交換時）

P_1 ：運転時圧力

P_{25} ：異常時圧力（720時間後）

T_{11} ：運転時温度荷重

T_{12} ：燃料交換時温度荷重

T_{25} ：異常時温度荷重（720時間後）

H_1 ：逃がし安全弁作動時荷重

K_1 ： S_d 地震荷重

K_2 ： S_s 地震荷重

R_{41} ： S_d 地震時配管荷重

R_{42} ： S_s 地震時配管荷重

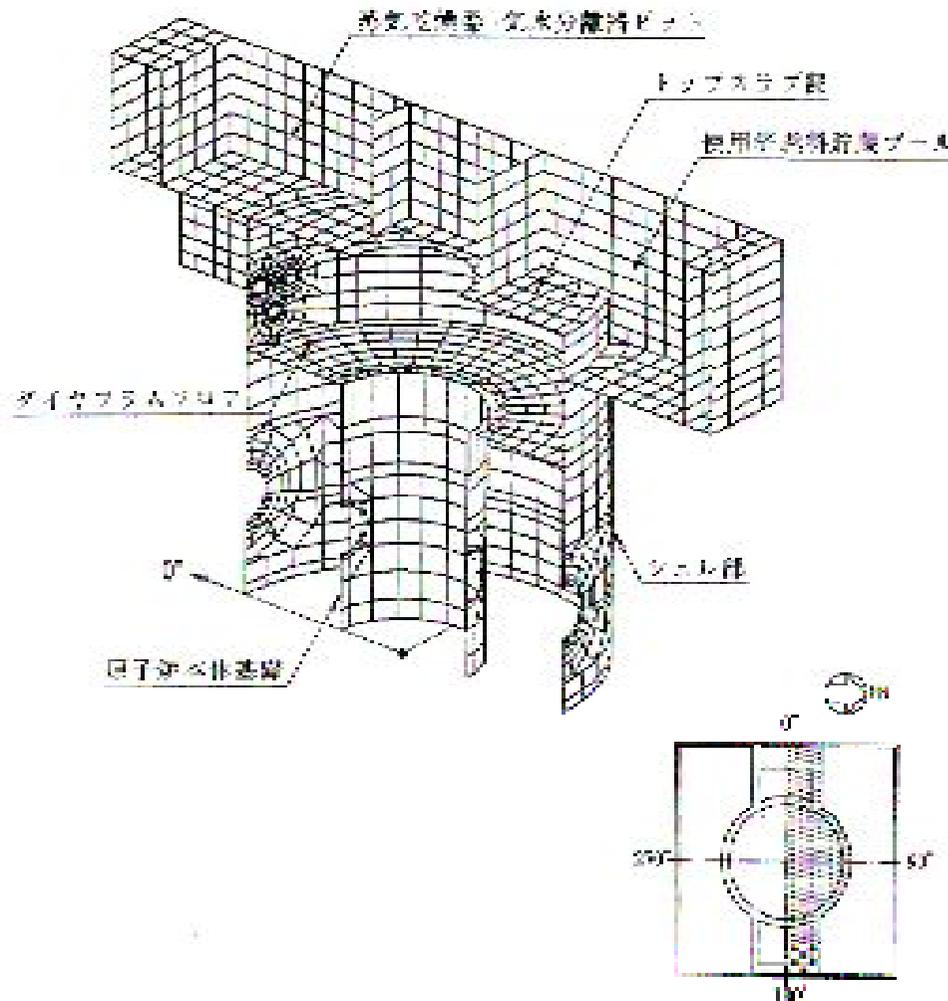
RCCVの応力解析（１）

■ 弾性解析

- ・ 弾性設計用地震動 S_d による地震荷重に対しては、弾性解析によりRCCVの応力を評価する。
- ・ 弾性解析では、シェル部およびトップスラブ部を板要素の集合体としてモデル化し、有限要素法により行う。
- ・ 各要素には、板の曲げと膜応力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。
- ・ 使用計算機コードは「NASTRAN」とする。
- ・ RCCVは構造的にはほぼ対象であるので、東西軸に対して北半分をモデル化し解析する。

RCCVの応力解析（2）

■ 弾性解析の解析モデル概要



解析に用いる材料物性値

- ・ コンクリートのヤング係数
： $E=31.3\text{kN/mm}^2$
- ・ コンクリートのポアソン比
： $=0.2$
- ・ コンクリートの線膨張係数
： $=1.0 \times 10^{-5}/$

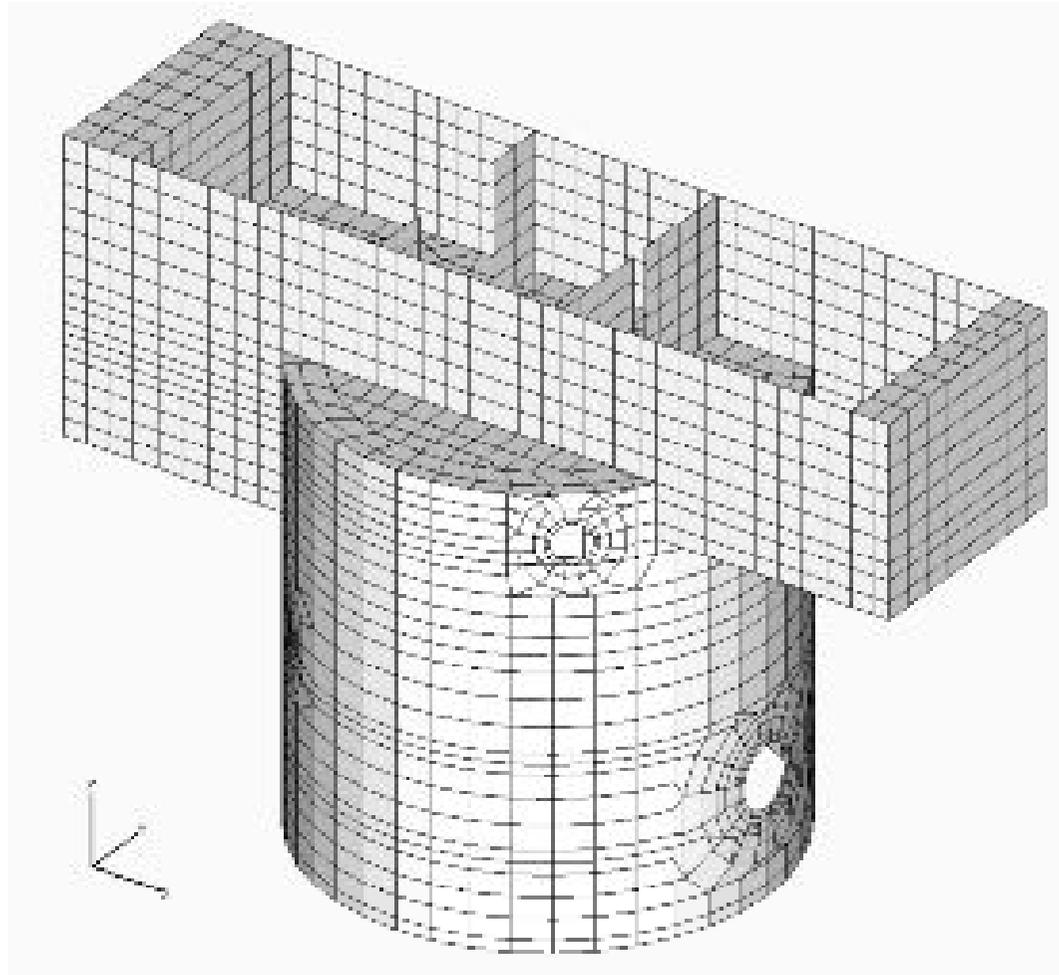
RCCVの応力解析（3）

■ 弾塑性解析

- ・ 基準地震動 S_s による地震荷重に対しては、弾塑性解析によりRCCVの応力を評価する。
- ・ 弾塑性解析では、シェル部およびトップスラブ部を積層シェル要素の集合体としてモデル化し、有限要素法により行う。
- ・ 各要素には、板の曲げと膜応力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。
- ・ 使用計算機コードは「ABAQUS」とする。
- ・ 解析モデルは、対称モデルを全体モデルとした以外は、弾性解析で用いている対称モデルと同じ要素分割およびモデル化の考え方を採用している。

RCCVの応力解析（４）

■ 弾塑性解析の解析モデル概要



RCCVの評価方法（１）

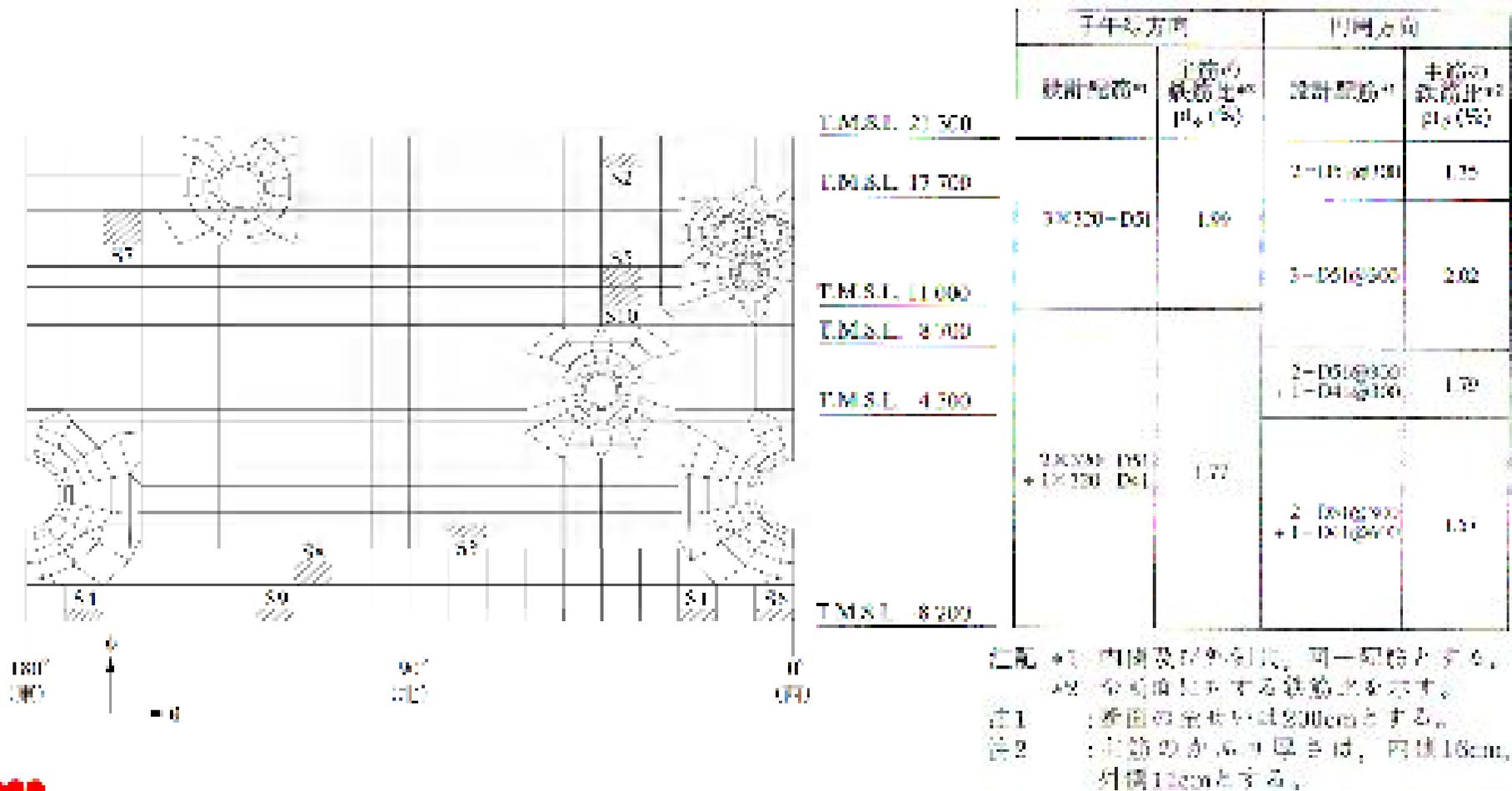
■ シェル部の評価方法（１）

- ・ 設計配筋等より求まる断面諸元に基づいてシェル部の構造検討を実施し、耐震安全性について評価する。
- ・ 評価は、応力解析の結果より求まる発生応力およびひずみに対して、CCV規格の規定に従って行い、評価基準値を超えないことを確認する。

RCCVの評価方法（2）

■ シェル部の評価方法（2）

- ・ 検討箇所および検討用断面諸元を下に示す。



RCCVの評価方法（3）

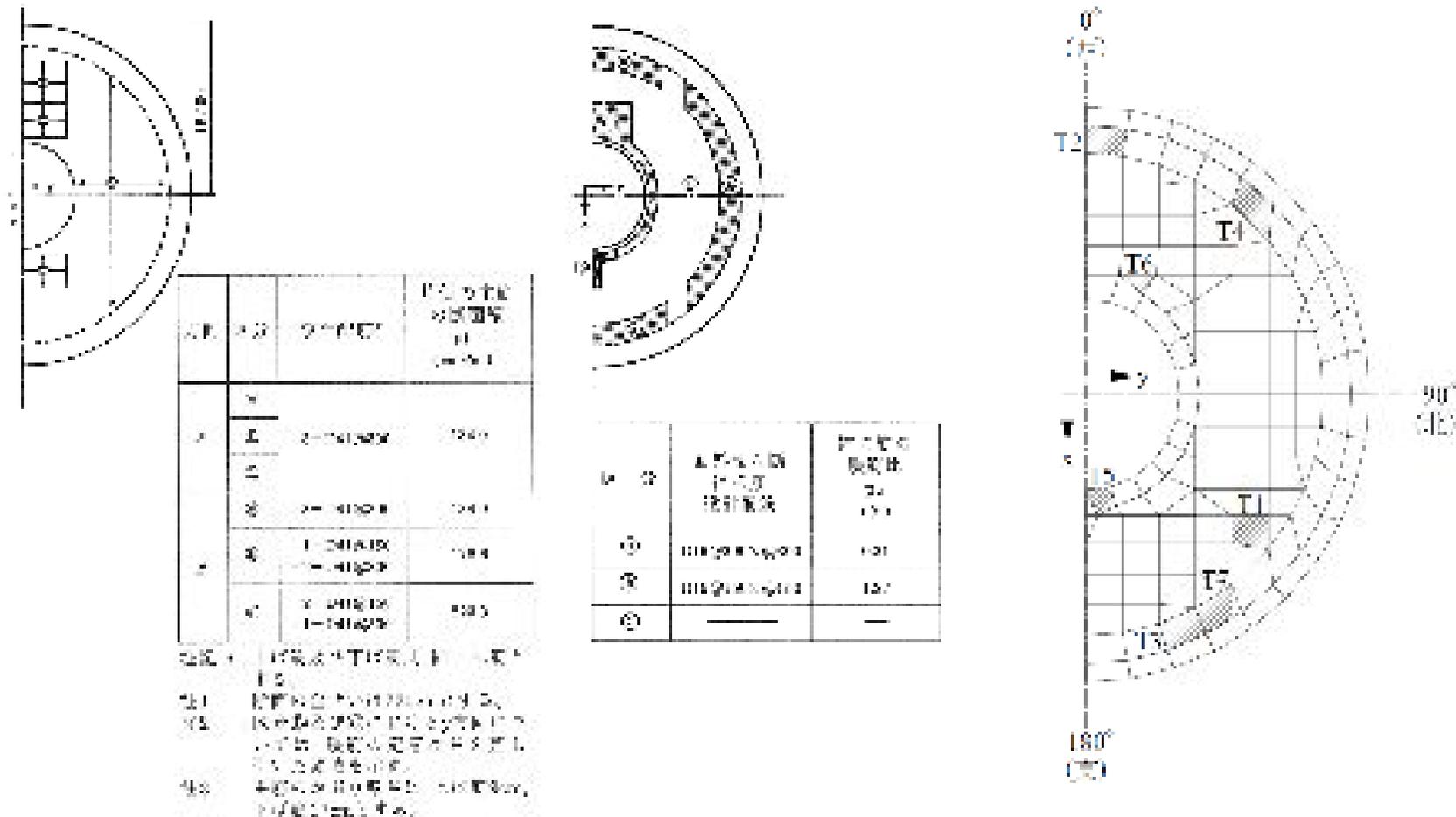
■ トップスラブ部の評価方法（1）

- ・ 設計配筋等より求まる断面諸元に基づいてトップスラブ部の構造検討を実施し、耐震安全性について評価する。
- ・ 評価は、応力解析の結果より求まる発生応力およびひずみに対して、CCV規格の規定に従って行い、評価基準値を超えないことを確認する。

RCCVの評価方法（４）

■ トップスラブ部の評価方法（２）

- ・ 検討箇所および検討用断面諸元を下に示す。



RCCVの評価結果（1）

■ シェル部の評価結果（1）

膜力と曲げ応力によるコンクリートおよび鉄筋の応力
（Sd地震荷重：子午線方向）

箇所名	検討応力	荷重時名称	発生応力 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	判定
S1	cσc	(異常+地震)時	-8.0	-36.8	可
	sσc	(異常+地震)時	-38.3	-390.0	可
	sσt	(異常+地震)時	242.9	390.0	可

膜力と曲げ応力によるコンクリートおよび鉄筋の応力
（Sd地震荷重：円周方向）

箇所名	検討応力	荷重時名称	発生応力 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	判定
S2	cσc	(異常+地震)時	-6.6	-36.8	可
	sσc	(異常+地震)時	-23.6	-390.0	可
	sσt	地震時(2)	174.9	390.0	可

c σ c : コンクリートの圧縮応力

s σ c、s σ t : 鉄筋の圧縮応力度および引張応力度（引張側を正として表記）

RCCVの評価結果（2）

■ シェル部の評価結果（2）

面内せん断応力
(Sd地震荷重)

箇所名	荷重時名称	発生応力 $N_{\phi\theta}/bD$ (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	判定
S3	地震時(1)	1.84	4.88	可

面外せん断応力
(Sd地震荷重)

箇所名	荷重時名称	発生応力 Q/bD (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	判定
S4	地震時(1)	0.99	1.96	可

N : 面内せん断力、 b、 D : 断面の幅および全せい

RCCVの評価結果（3）

■ シェル部の評価結果（3）

膜力と曲げ応力によるコンクリートおよび鉄筋のひずみ
 (S_s地震荷重：子午線方向)

箇所名	検討ひずみ	荷重時名称	発生ひずみ ($\times 10^{-6}$)	評価基準値 ($\times 10^{-6}$)	判定
S5	c ϵ_c	地震時(3)	-98	-3000	可
	s ϵ_c	地震時(4)	-48	-5000	可
	s ϵ_t	地震時(3)	654	5000	可

膜力と曲げ応力によるコンクリートおよび鉄筋のひずみ
 (S_s地震荷重：円周方向)

箇所名	検討ひずみ	荷重時名称	発生ひずみ ($\times 10^{-6}$)	評価基準値 ($\times 10^{-6}$)	判定
S6	c ϵ_c	地震時(3)	-8	-3000	可
	s ϵ_c	地震時(3)	-5	-5000	可
	s ϵ_t	地震時(3)	80	5000	可

c ϵ_c : コンクリートの圧縮ひずみ
 s ϵ_c 、s ϵ_t : 鉄筋の圧縮ひずみおよび引張ひずみ (引張側を正として表記)

RCCVの評価結果（４）

■ シェル部の評価結果（４）

膜力によるコンクリートの圧縮応力（ S_s 地震荷重）

箇所名	荷重時名称	発生応力 N/bD (N/mm^2)	評価基準値 (N/mm^2)	判定
S7	地震時(3)	-8.88	-32.67	可

面内せん断応力
(S_s 地震荷重)

箇所名	荷重時名称	発生応力 $N\phi\theta/bD$ (N/mm^2)	評価基準値 (N/mm^2)	判定
S8	地震時(3)	3.34	6.51	可

面外せん断応力
(S_s 地震荷重)

箇所名	荷重時名称	発生応力 Q/bD (N/mm^2)	評価基準値 (N/mm^2)	判定
S9	地震時(3)	0.99	2.20	可

N：膜力、 N ：面内せん断力、 b 、 D ：断面の幅および全せい、
Q：面外せん断力（引張側を正として表記）

RCCVの評価結果（5）

■ トップスラブ部の評価結果（1）

軸力と曲げ応力によるコンクリートおよび鉄筋の応力
 （Sd地震荷重：x方向）

箇所名	検討 応力	荷重時名称	発生応力 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	判 定
T1	cσc	(異常+地震)時	-3.6	-36.8	可
	sσc	(異常+地震)時	-2.5	-390.0	可
	sσt	地震時(2)	223.7	390.0	可

軸力と曲げ応力によるコンクリートおよび鉄筋の応力
 （Sd地震荷重：y方向）

箇所名	検討 応力	荷重時名称	発生応力 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	判 定
T2	cσc	(異常+地震)時	-8.3	-36.8	可
	sσc	地震時(2)	-17.8	-390.0	可
	sσt	地震時(1)	202.2	390.0	可

c σ c : コンクリートの圧縮応力

s σ c、s σ t : 鉄筋の圧縮応力度および引張応力度（引張側を正として表記）

RCCVの評価結果（6）

■ トップスラブ部の評価結果（2）

面外せん断応力
(Sd地震荷重)

箇所名	荷重時名称	発生応力 Q (N/mm)	評価基準値 (N/mm)	判定
T3	地震時(2)	2204	4701	可

面外せん断応力
(Ss地震荷重)

箇所名	荷重時名称	発生応力 Q (N/mm)	評価基準値 (N/mm)	判定
T6	地震時(4)	2813	4701	可

Q：面外せん断力

RCCVの評価結果（7）

■ トップスラブ部の評価結果（3）

軸力と曲げ応力によるコンクリートおよび鉄筋のひずみ
 （Ss地震荷重：x方向）

箇所名	検討ひずみ	荷重時名称	発生ひずみ ($\times 10^{-6}$)	評価基準値 ($\times 10^{-6}$)	判定
T4	c ϵ_c	地震時(4)	-14	-3000	可
	s ϵ_c	地震時(4)	-6	-5000	可
	s ϵ_t	地震時(3)	64	5000	可

軸力と曲げ応力によるコンクリートおよび鉄筋のひずみ
 （Ss地震荷重：y方向）

箇所名	検討ひずみ	荷重時名称	発生ひずみ ($\times 10^{-6}$)	評価基準値 ($\times 10^{-6}$)	判定
T5	c ϵ_c	地震時(4)	-216	-3000	可
	s ϵ_c	地震時(4)	-103	-5000	可
	s ϵ_t	地震時(4)	184	5000	可

c ϵ_c : コンクリートの圧縮ひずみ
 s ϵ_c 、s ϵ_t : 鉄筋の圧縮ひずみおよび引張ひずみ（引張側を正として表記）

RCCV底部の検討概要（１）

■ R C C V底部の検討概要（１）

- ・ R C C V底部の構造の検討は、（社）日本機械学会「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NE1-2003」（C C V規格）の規定に従う。
- ・ 設計時から変更のない死荷重および活荷重、運転時荷重、異常時荷重に加え、今回新たに算定する地震荷重を組合せた荷重に対して、弾性設計用地震動 S_d による地震荷重については弾性解析を、基準地震動 S_s については、弾塑性解析を実施し、各荷重時の発生応力を算定する。

RCCV底部の検討概要（2）

■ RCCV底部の検討概要（2）

- ・ 弾性設計用地震動 S_d および基準地震動 S_s による地震荷重については、下表に示す組合せを考慮する。
- ・ 水平地震動と鉛直地震動の荷重の組み合わせは、組合せ係数法（組合せ係数0.4）による評価する。

地震時荷重の組合せ

荷重状態	荷重時名称	荷重の組合せ
	地震時(1)	$DL+P_1+T_1+H_1+K_1$
	(異常+地震)時	$DL+P_{25}+T_{25}+K_1$
	地震時(2)	$DL+P_1+H_1+K_2$
	地震時(3)	$DL+K_2$

DL_1 : 死荷重および活荷重
 P_1 : 運転時圧力
 P_{25} : 異常時圧力（720時間後）
 T_1 : 運転時温度荷重
 T_{25} : 異常時温度荷重（720時間後）
 H_1 : 逃がし安全弁作動時荷重
 K_1 : S_d 地震荷重
 K_2 : S_s 地震荷重

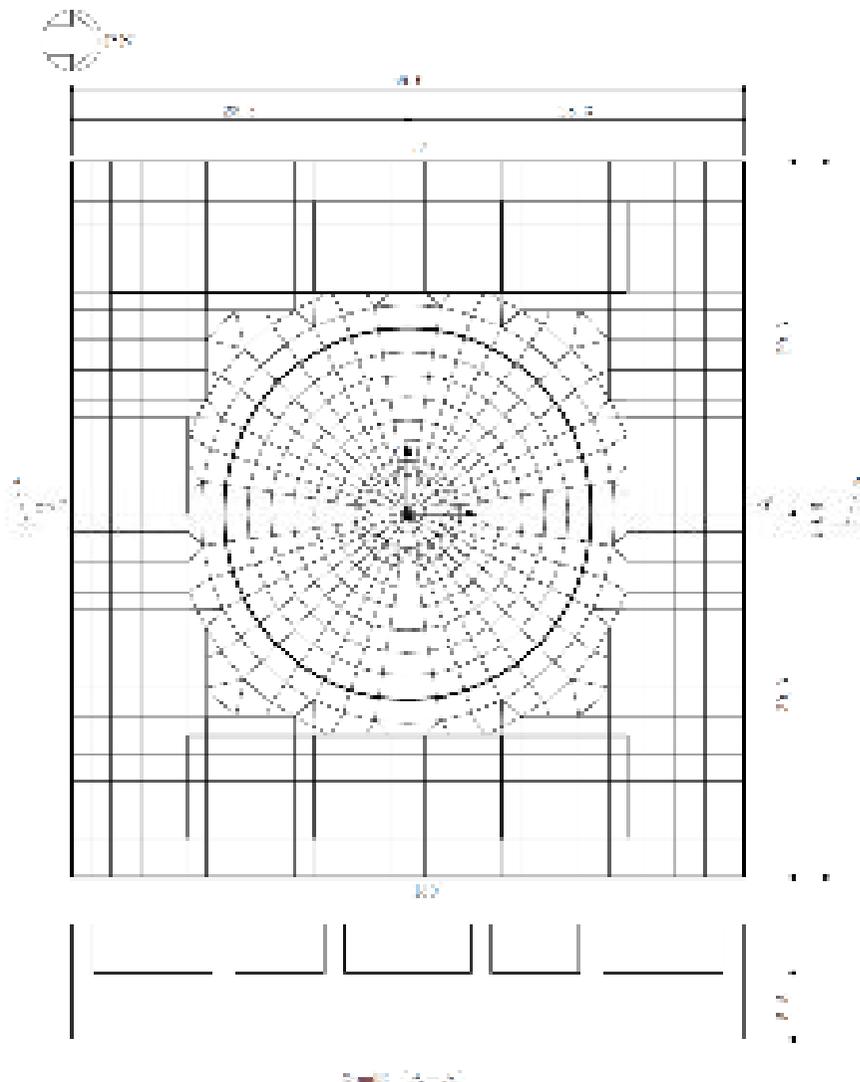
RCCV底部の応力解析（1）

■ 弾性解析

- ・ 弾性設計用地震動 S_d による地震荷重に対しては、弾性解析によりRCCV底部の応力を評価する。
- ・ 弾性解析では、RCCV底部を板要素の集合体としてモデル化し、弾性地盤上に支持された版として、有限要素法により解析する。
- ・ 各要素には、板の曲げと膜応力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。
- ・ 使用計算機コードは「NASTRAN」とする。
- ・ RCCV底部より立ち上がっている耐震壁の剛性を考慮してボックス壁およびRCCV部分の鉛直方向変位は直線になるものとしてモデル化する。

RCCV底部の応力解析（2）

■ 弾性応力解析の解析モデル概要



解析に用いる材料物性値

- ・ コンクリートのヤング係数
： $E=29.0\text{kN/mm}^2$
- ・ コンクリートのポアソン比
： $=0.2$
- ・ コンクリートの線膨張係数
： $=1.0 \times 10^{-5}/$

RCCV底部の応力解析（3）

■ 弾塑性解析

- ・ 基準地震動 S_s による地震荷重に対しては、弾塑性解析によりRCCV底部の応力を評価する。
- ・ 弾塑性解析では、RCCV底部を積層シェル要素の集合体としてモデル化し、有限要素法により解析する。
- ・ 各要素には、板の曲げと膜応力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。
- ・ 使用計算機コードは「ABAQUS」とする。
- ・ 要素分割、RCCV底部より立ち上がっている耐震壁のモデル化および支持地盤のモデル化等については、弾性解析で用いているモデルと同じ考え方を採用している。

RCCV底部の評価方法（１）

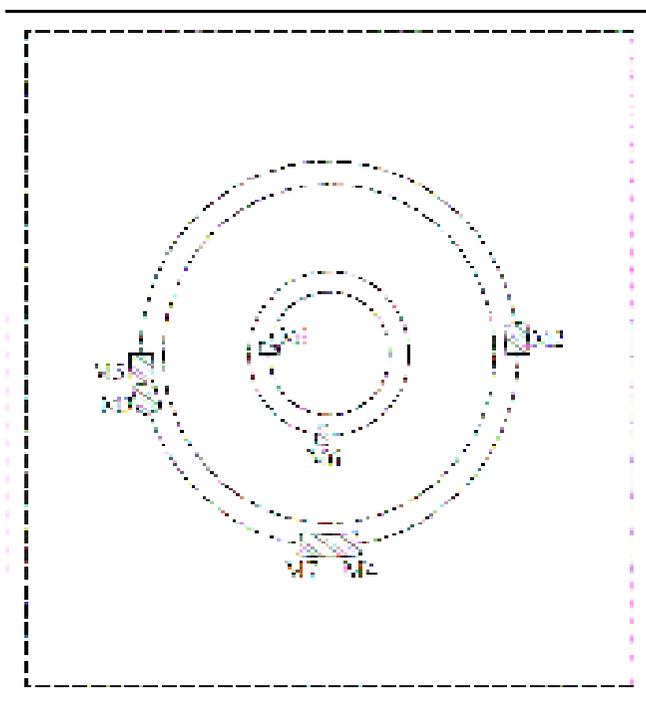
■ R C C V底部の評価方法（１）

- ・ 設計配筋等より求まる断面諸元に基づいてR C C V底部の構造検討を実施し、耐震安全性について評価する。
- ・ 評価は、応力解析の結果より求まる発生応力およびひずみに対して、C C V規格の規定に従って行い、評価基準値を超えないことを確認する。

RCCV底部の評価方法（2）

■ R C C V 底部の評価方法（2）

- ・ 検討箇所および検討用断面諸元を下に示す。



方向	位置	上ば筋		下ば筋	主筋断面積(cm ² /m)	
		放射方向筋	円周方向筋	x, y方向筋	上ば筋	下ば筋
x	M1	5 × 160-D38	2-D38@200+3-D38@400	x, y方向共 5-D38@200	235.7	285.0
y	M2	5 × 320-D38	5-D38@200		284.2	285.0
x	M5				165.8	285.0
y	M6	5 × 160-D38	2-D38@200+3-D38@400		235.7	285.0

注：断面の全せいは495cmとする。

位置	せん断補強筋	せん断補強筋比 (%)
M3		
M4	D35@400×@400	0.59
M7		

RCCV底部の評価結果（1）

■ RCCV底部の評価結果（1）

軸力と曲げ応力によるコンクリートおよび鉄筋の応力
 （Sd地震荷重：x方向）

箇所名	検討応力	荷重時名称	発生応力 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	判定
M1	cσc	地震時(1)	-8.9	-33.1	可
	sσc	地震時(1)	-54.7	-345.0	可
	sσt	地震時(1)	162.9	345.0	可

軸力と曲げ応力によるコンクリートおよび鉄筋の応力
 （Sd地震荷重：y方向）

箇所名	検討応力	荷重時名称	発生応力 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	判定
M2	cσc	地震時(1)	-3.4	-33.1	可
	sσc	地震時(1)	-23.6	-345.0	可
	sσt	(異常+地震)時	172.9	345.0	可

c σ c : コンクリートの圧縮応力

s σ c、s σ t : 鉄筋の圧縮応力度および引張応力度（引張側を正として表記）

RCCV底部の評価結果（2）

■ RCCV底部の評価結果（2）

面外せん断応力
(Sd地震荷重：x方向)

箇所名	荷重時名称	発生応力 Q_x (N/mm)	評価基準値 (N/mm)	判定
M3	地震時(1)	5969	12787	可

面外せん断応力
(Sd地震荷重：y方向)

箇所名	荷重時名称	発生応力 Q_y (N/mm)	評価基準値 (N/mm)	判定
M4	地震時(1)	7287	12787	可

Q_x 、 Q_y ：x方向およびy方向の面外せん断力

RCCV底部の評価結果（3）

■ RCCV底部の評価結果（3）

軸力と曲げ応力によるコンクリートおよび鉄筋のひずみ
 (Ss地震荷重：x方向)

箇所名	検討ひずみ	荷重時名称	発生ひずみ ($\times 10^{-6}$)	評価基準値 ($\times 10^{-6}$)	判定
M5	c ϵ_c	地震時(2)	-227	-3000	可
	s ϵ_c	地震時(2)	55	-5000	可
	s ϵ_t	地震時(2)	122	5000	可

軸力と曲げ応力によるコンクリートおよび鉄筋のひずみ
 (Ss地震荷重：y方向)

箇所名	検討ひずみ	荷重時名称	発生ひずみ ($\times 10^{-6}$)	評価基準値 ($\times 10^{-6}$)	判定
M6	c ϵ_c	地震時(2)	-194	-3000	可
	s ϵ_c	地震時(3)	27	-5000	可
	s ϵ_t	地震時(2)	103	5000	可

c ϵ_c : コンクリートの圧縮ひずみ

s ϵ_c 、s ϵ_t : 鉄筋の圧縮ひずみおよび引張ひずみ (引張側を正として表記)

RCCV底部の評価結果（４）

■ R C C V底部の評価結果（４）

面外せん断応力
(S_s 地震荷重：x方向)

箇所名	荷重時名称	発生応力 Q_x (N/mm)	評価基準値 (N/mm)	判定
M3	地震時(2)	9825	12787	可

面外せん断応力
(S_s 地震荷重：y方向)

箇所名	荷重時名称	発生応力 Q_y (N/mm)	評価基準値 (N/mm)	判定
M7	地震時(2)	11051	12787	可

Q_x 、 Q_y ：x方向およびy方向の面外せん断力

まとめ

弾性設計用地震動 S_d による、RCCVのシェル部、トップスラブ部、底部についての発生応力およびひずみは、荷重状態 の評価基準値以内であり、耐震安全性は確保されているものと評価した。

基準地震動 S_s による、RCCVのシェル部、トップスラブ部、底部についての発生応力およびひずみは、荷重状態 の評価基準値以内であり、耐震安全性は確保されているものと評価した。