

再処理施設の廃止措置を進めていく上での
火山影響(降下火砕物)に対する防護について

【概要】

- 高放射性廃液貯蔵場(HAW)とガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟について、廃止措置計画用火山事象(降下火砕物)に対して重要な安全機能(閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能)が損なわれないようするため、「再処理施設の廃止措置を進めていく上での火山事象対策の基本的考え方」を示した。
- 建家への降下火砕物の堆積の影響評価の結果、火砕降下物の堆積荷重と積雪を重畳した場合においても建家屋スラブの許容荷重以下となった。
- 換気空調設備等への降下火砕物の影響評価結果及び火砕降下物の降灰が予想された場合の運用管理(降灰作業やフィルタの交換作業等)については、7月中旬に提示する予定である。

令和2年6月29日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

再処理施設の廃止措置を進めていく上での火山事象対策の基本的考え方

廃止措置段階にある再処理施設においてはリスクが特定の施設に集中している。高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場（HAW）と、長期間ではないものの分離精製工場（MP）等の工程洗浄や系統除染に伴う廃液処理を含めて一定期間使用するガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については、安全対策を最優先で講じる必要がある。

このため、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については、地震対策や津波対策と同様、廃止措置計画用火山事象に基づく降下火砕物による影響に対しても、設備と運用による対策を組み合わせ、重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が損なわれることのないようにする。

- ・ 閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を担う設備^{※1}を降下火砕物から防護するために、それら設備を内包する高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家を降下火砕物の堆積荷重に耐えうるようにすることで安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）を損なわない設計とする。
- ・ 建家の防護設計では、想定する降下火砕物の荷重に加え、常時作用する荷重及び自然現象（積雪）の荷重を組み合わせる。
- ・ 気象庁の発表等による火山の噴火及び降灰予報情報に基づき、降下火砕物により高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に影響が及ぶおそれがある場合には、屋上に堆積する降下火砕物の除去や換気系給気フィルタの交換等の必要な措置を行う。
- ・ 降下火砕物の影響による高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に電力やユーティリティを供給する既設の恒設設備（外部電源及び非常用発電機、蒸気及び工業用水の供給施設）の機能喪失を想定し、代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備として配備する設備^{※2}等が使用できるよう必要な対策を実施する。

上記以外の施設については、今後とも安全かつ継続して施設を運用し計画的に廃止措置を進めることができるよう、それぞれのリスクに応じた対策を講じることとする。

※1 廃止措置計画用火山事象に対して安全機能を維持すべき対象施設は、別添 6-1-2-1「再処理施設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方」で示

した崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を担う設備とする。

※2 別添 6-1-2-1「再処理施設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方」に示した事故対処設備。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)及び
ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の
火山事象対策に関する説明書
(DRAFT)

1. 概要

本資料は、「再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則」（以下「再処理技術基準規則」という。）の第八条一項に照らして、令和2年2月10日に認可（原規規発第2002103号）を受けた「核燃料サイクル工学研究所再処理施設の廃止措置計画の変更認可」における「廃止措置計画用火山事象」に基づき、高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の火山事象（火砕降下物）対策を説明するものである。

※ 原子力規制委員会から示された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所(再処理施設)の廃止措置計画の認可の審査に関する考え方」（平成29年4月）においては「再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則」（以下「再処理維持基準規則」という。）に照らして審査するものとされているが、改正第3条の施行の日（令和2年4月1日）から廃止措置計画の認可は再処理技術基準規則に従うこととされているため、本資料では従来までの再処理維持基準規則を再処理技術基準規則で読み替える。

2. 火山事象対策の基本的考え方

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所（再処理施設）（以下、「東海再処理施設」という）の廃止措置計画において、高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の廃止措置計画用火山事象（以下、火山事象という。）に対する安全対策の検討は、「添付資料 6-1-4-2-1 再処理施設の廃止措置を進めていく上での火山事象対策の基本的考え方」に基づいて行う。また、影響評価については「原子力発電所の火山影響評価ガイド」（原子力規制委員会、平成25年6月19日、改正 令和元年12月18日）（以下、「ガイド」という。）を参考に実施する。

3. 建家への降下火砕物による積載荷重に対する健全性評価

3.1 降下火砕物による荷重の設定

令和2年2月10日に認可（原規規発第2002103号）を受けた「核燃料サイクル工学研究所再処理施設の廃止措置計画の変更認可」で設定した降下火砕物の条件に基づき、湿潤密度 1.5 g/cm^3 、層厚 50 cm の降下火砕物による堆積荷重として、 7350 N/m^2 を設定する。その他の荷重として、以下の従荷重及び除灰時の人員荷重を重畳させ、自重、積載荷重の他、建家鉛直方向に作用する荷重として合計 8540 N/m^2 を設定する。

(1) 降水

火山灰は一般に透水性が高く、降水が堰き止められて荷重が増加することは

考えにくいですが、湿潤状態の火山灰の密度として 1.5 g/cm^3 を考慮することで、乾燥状態の密度 0.3 g/cm^3 よりも 1.2 g/cm^3 大きい密度を考慮していることから、降水に伴う従荷重は考慮済みである。

(2) 積雪

再処理施設のある茨城県那珂郡東海村は、建築基準法での多雪区域に当たらないが、多雪区域と同等の重ね合わせを考慮する。建築基準法では、多雪区域において暴風あるいは地震時の荷重評価の際に積雪の重ね合わせを求めているが、その際従たる積雪荷重はまれに起こる積雪荷重ではなく、平均的な積雪荷重としており、平均的な積雪荷重は短期積雪荷重の 0.35 倍としている。茨城県建築基準法施行細則による東海村の垂直積雪量は 30 cm であり、この 0.35 倍として 10.5 cm の積雪を考慮する。建築基準法での積雪の単位荷重は積雪量 1 cm 当たり 20 N/m^2 であり、重畳する積雪荷重として 210 N/m^2 を考慮する。

(3) 風

施設は陸屋根であり、降下火砕物による堆積荷重は鉛直方向に作用する。一方、風荷重は水平方向に作用することから、各々独立に評価できる。

(4) 地震活動

基準地震動の震源と火山とは十分な距離があることから、各々独立した事象として扱い、重畳は考慮しない。

火山性地震については、火山と敷地が 90 km 以上離れていることから、重畳は考慮しない。

(5) 津波

基準津波を発生させる地震の震源と火山とは十分な距離があることから、各々独立した事象として扱い、重畳は考慮しない。

(6) 外部人為事象

火山事象と外部人為事象はそれぞれ独立した事象であり、外部人為事象による荷重は考慮しない。

(7) 除灰時の人員荷重

降下火砕物を除灰する際の人員の荷重については、建家健全性評価において「建築構造設計基準の試料」（国土交通省 平成 30 年版）に示される屋上の通常人が使用しない場合の床版計算用積載荷重 980 N/m^2 を考慮し、健全性確認を

行う。

なお、建家屋上除灰時は、スコップ、土嚢、集塵マスク、ゴーグル、箒等軽量の資材を使用し、重機等の大きな荷重を伴う資機材は使用せず、集積した降下火砕物は可能な限り均等に配置し、灰置場に運搬する。

3.2 評価方法

「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2010（日本建築学会）」（RC 規準）に記載された計算式に基づき屋根スラブに作用する曲げモーメント評価を実施する。

等分布荷重を受ける長方形スラブの曲げモーメントは次式で表される。

短辺 x 方向の曲げモーメント（単位幅につき）

両端最大負曲げモーメント

$$M_{x1} = -\frac{1}{12}w_x l_x^2 \quad \dots (1)$$

中央部最大正曲げモーメント

$$M_{x2} = \frac{1}{18}w_x l_x^2 \quad \dots (2)$$

長辺 y 方向の曲げモーメント（単位幅につき）

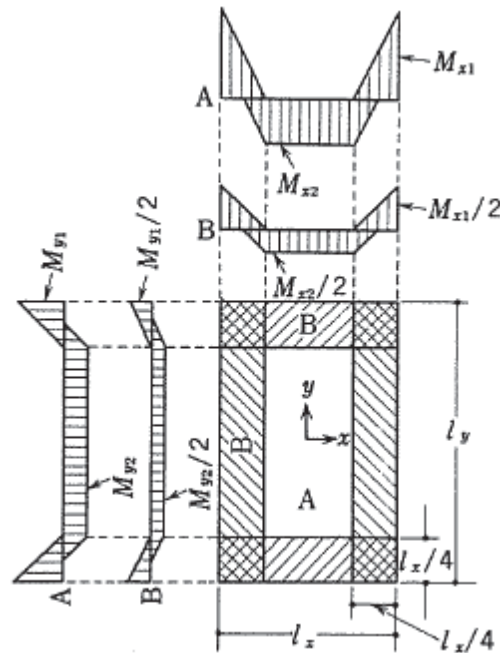
両端最大負曲げモーメント

$$M_{y1} = -\frac{1}{24}w l_x^2 \quad \dots (3)$$

中央部最大正曲げモーメント

$$M_{y2} = \frac{1}{36}w l_x^2 \quad \dots (4)$$

ここで、各曲げモーメントが作用する位置は長方形スラブに対して、



であり、

l_x : 短辺有効スパン

l_y : 長辺有効スパン

w : 単位面積についての全荷重

$$w_x = \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} w \quad \dots (5)$$

である。ただし、有効スパンとは、支持部材間の内法寸法をいう。文献では、周辺より $l_x/4$ 幅の B 部分については、周辺に平行な方向の曲げモーメントを半減できるとしているが、ここではスラブに作用する最大曲げモーメントを考慮するので、A 部分について許容曲げモーメントと比較する。 w_x は長辺方向への荷重分担分を減じた荷重であり、 $l_x=l_y$ の場合に $w/2$ となり長辺方向の曲げモーメントと短辺方向の曲げモーメントは一致する。 $l_x/l_y < 1$ では、 $w_x/w > 1/2$ となり $M_{x1}/M_{y1} > 1$ となることから、本算定方式では A 部分に生じる短辺方向両端最大負曲げモーメントが絶対値として最大となる。

スラブの許容曲げモーメント M は、梁に対する算定式を用いることができ、引張鉄筋比が釣合鉄筋比以下のときは、次式で算出できる。

$$M = a_t f_t \frac{7}{8} d \quad \dots (6)$$

ここで、 a_t は引張鉄筋断面積（単位長当たりの下部鉄筋断面積）、 f_t は鉄筋の許容引張応力度、 d は有効せい（圧縮縁から引張鉄筋中心までの距離）である。引張鉄筋比 p_t 及び釣合鉄筋比 p_{tb} は次のとおり計算される。

$$p_t = \frac{a_t}{bd} \quad \dots (7)$$

$$p_{tb} = \frac{1}{2 \left(1 + \frac{f_t}{nf_c} \right) \left[\frac{f_t}{nf_c} \{ n + (n-1)\gamma d_{c1} \} - (n-1)\gamma (1 - d_{c1}) \right]} \quad \dots (8)$$

ここで、 b は梁幅でありスラブの場合は単位長となる。 f_c はコンクリートの許容圧縮応力度、 n はヤング係数比でコンクリートの設計基準強度に対して次のとおり与えられる。

コンクリートの設計基準強度 (N/mm^2)	ヤング係数比 : n
27以下	15
27を超え, 36以下	13
36を超え, 48以下	11
48を超え, 60以下	9

γ は複筋比 a_c/a_t であり、 a_c は圧縮鉄筋断面積で、上部配筋と下部配筋が同様であれば a_c と a_t は等しく、 γ は1となる。また、 d_{c1} は次式で定義され、

$$d_{c1} = \frac{d_c}{d} \quad \dots (9)$$

d_c は圧縮縁から圧縮鉄筋中心までの距離である。

建家のスラブの健全性は、スラブの許容曲げモーメント M が A 部分に生じる短辺方向両端最大負曲げモーメント M_{x1} の絶対値を上回ることによって評価する。

3.3 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の健全性評価

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の屋上スラブは図 6-1-4-2-2-1 から図 6-1-4-2-2-3 に示すとおり設計、施工されている。

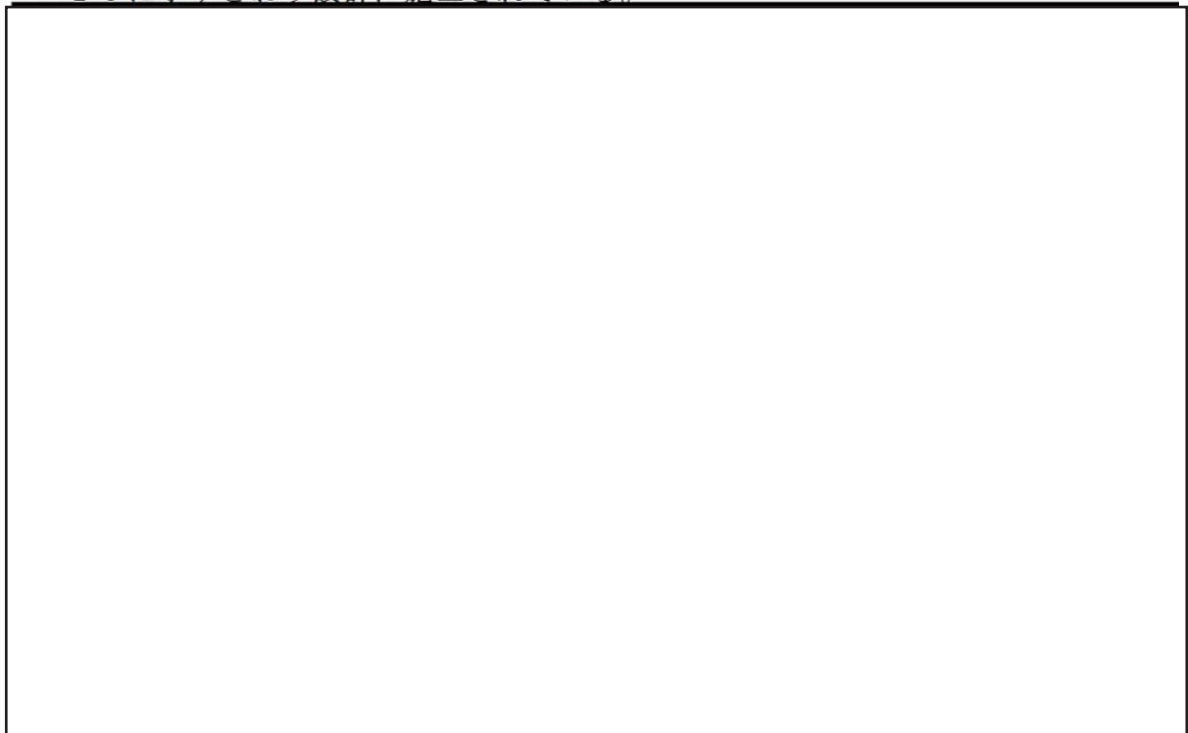


図 6-1-4-2-2-1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 鳥瞰図 (加筆)



図 6-1-4-2-2-2 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) スラブ断面図

コンクリートの設計基準強度は 210 kg/cm^2 (SI 単位では 20.6 N/mm^2)，異形鉄筋の許容応力度は 3000 kg/cm^2 (SI 単位では 294 N/mm^2) である。降下火砕物は適宜除去作業を実施することから，コンクリートの許容圧縮応力度及び鉄筋の許容引張応力度に短期荷重に対するものを用い，それぞれ 13.7 N/mm^2 及び 294 N/mm^2 として釣合鉄筋比 (p_{tb}) を算出した場合，PR 階に対して 1.61×10^{-2} ，5 階に対して 1.86×10^{-2} となる。スラブの形状から算出される引張鉄筋比 (p_t) は PR 階スラブ及び 5 階スラブいずれも 3.67×10^{-3} であり，釣合鉄筋比を下回っている。

PR 階スラブについては，積載荷重はいずれの位置でも 800 kg/cm^2 (SI 単位では $7.84 \times 10^3 \text{ N/m}^2$) にて設計しており，5 階スラブについては，特殊荷重として図 6-1-4-2-2-3 に示す位置に対して 1300 kg/cm^2 (SI 単位では $1.275 \times 10^4 \text{ N/m}^2$) にて設計していることから，PR 階スラブは短辺が最も長い図中 A の位置のスラブを，5 階スラブは短辺スラブが最も長いスラブのうち，特殊荷重にて設計している図中 B の位置のスラブを評価対象とした。



図 6-1-4-2-2-3 スラブ伏図 (加筆)

建家鉛直方向に作用する負荷による曲げモーメントを，引張鉄筋の短期許容応力度より算出した許容曲げモーメントと比較した結果を次表に示す。これらから，PR 階及び 5 階スラブは降下火砕物等による静的荷重に耐えうる。

表 6-1-4-2-2-1 屋上スラブの健全性評価結果

	PR 階スラブ	5 階スラブ
短辺有効スパン (m)	3.7	2.8
長辺有効スパン (m)	7.7	7.9
自重 (N/m ²)	7120	9470
積載荷重 (N/m ²)	7850	12750
降下火砕物等による荷重 (N/m ²)	8540	8540
W _x (N/m ²)	2.23×10^4	3.03×10^4
M _{x1} (N)	2.55×10^4	1.98×10^4
引張鉄筋断面積 (m ²)	6.34×10^{-4}	9.93×10^{-4}
有効せい (m)	1.73×10^{-1}	2.71×10^{-1}
M (N)	2.82×10^4	6.93×10^4
M _{x1} /M	0.90	0.29

3.3 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の健全性評価

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の屋上スラブは PR 階と R 階のスラブがあり、それぞれ複数種類がある。

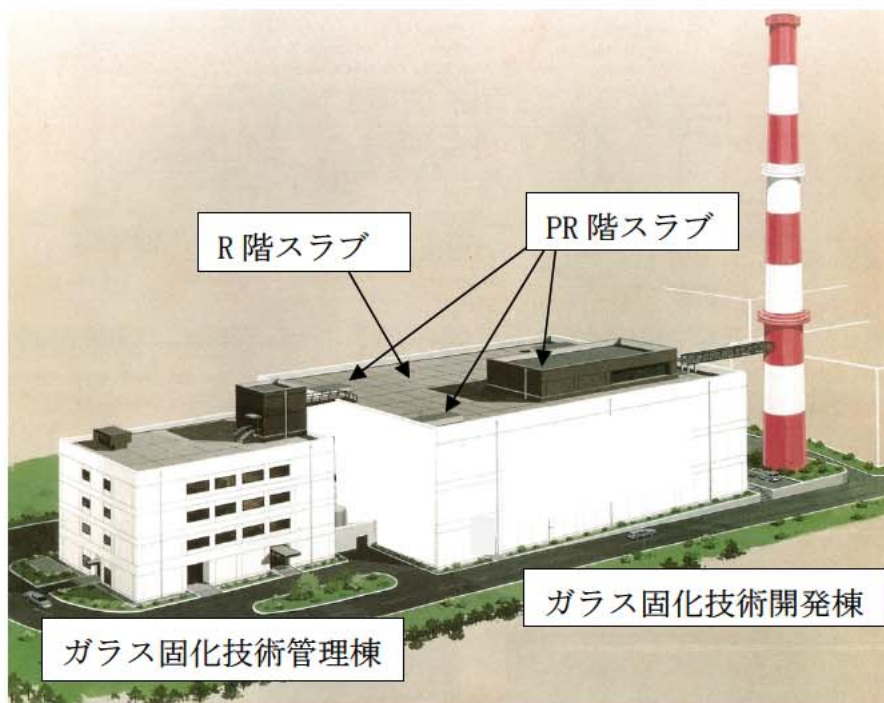


図 6-1-4-2-2-4 ガラス固化技術開発施設 (TVF) 鳥瞰図 (加筆)

スラブの配置はスラブ伏図（図 6-1-4-2-2-5）に示すとおりであり，一部には上部鉄筋の短辺 h 方向に複数種類の異形鉄筋を交互に配筋している（図 6-1-4-2-2-6）。スラブ厚さ及び異形鉄筋の配筋状況は表 6-1-4-2-2-2 のとおりである。

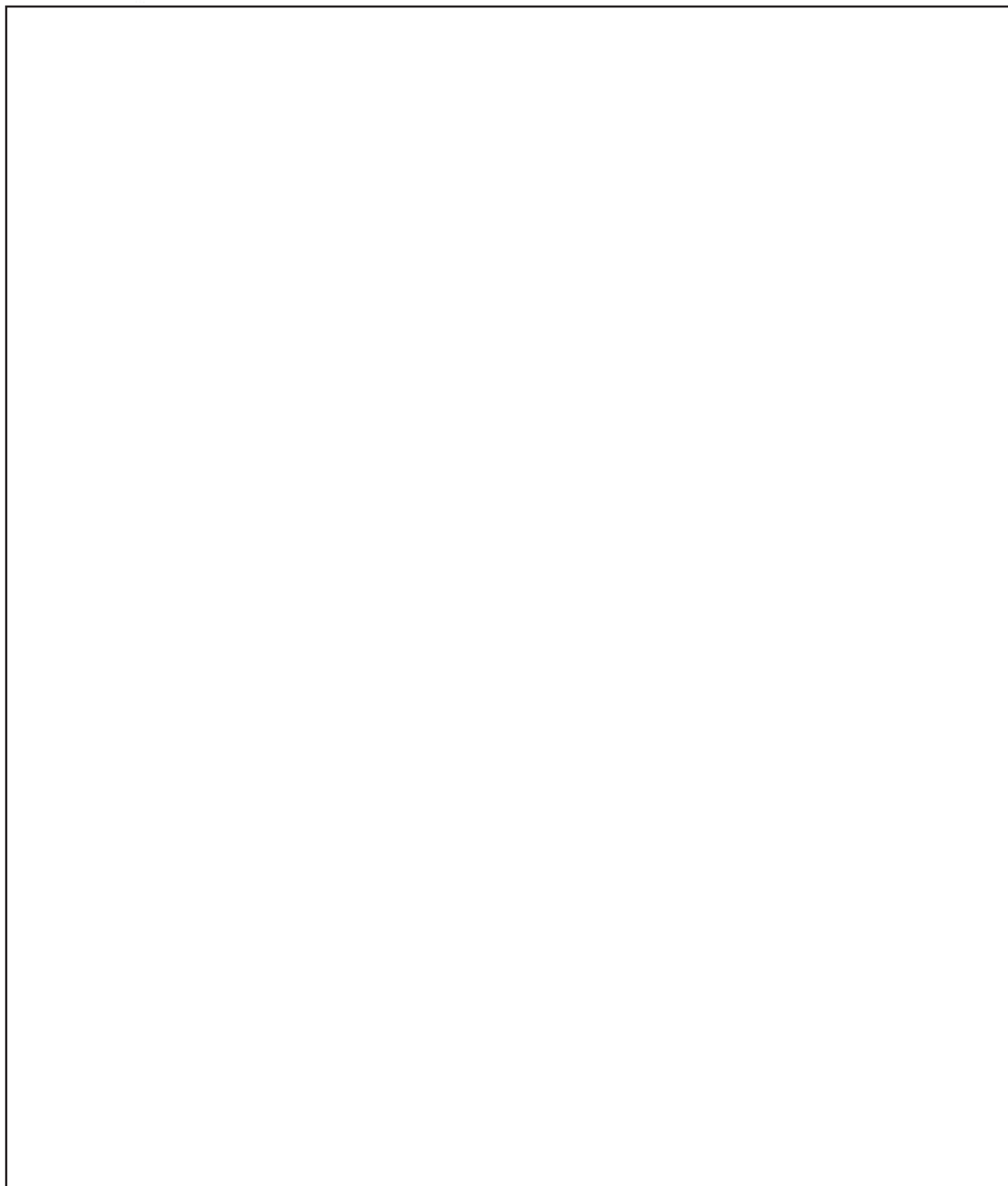


図 6-1-4-2-2-5 ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟
スラブ伏図（加筆）



図 6-1-4-2-2-6 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟
短辺方向スラブ断面図

表 6-1-4-2-2-2 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟
スラブ諸元

スラブ	厚さ (mm)	異形鉄筋 ○	異形鉄筋 ●	釣合鉄筋比 (短期)	引張鉄筋比
PRS1	[]	D10	D10	1.33×10^{-2}	3.12×10^{-3}
PRS2		D10	D13	1.24×10^{-2}	4.38×10^{-3}
RS1		D10	D10	1.33×10^{-2}	3.12×10^{-3}
RS2		D10	D13	1.24×10^{-2}	4.38×10^{-3}
RS3		D13	D13	1.28×10^{-2}	5.61×10^{-3}
RS4		D13	D13	1.60×10^{-2}	3.89×10^{-3}

コンクリートの設計基準強度は 225 kg/cm^2 (SI 単位では 22.1 N/mm^2)，異形鉄筋の許容応力度は 3000 kg/cm^2 (SI 単位では 294 N/mm^2) である。降下火砕物は適宜除去作業を実施することから，コンクリートの許容圧縮応力度及び鉄筋の許容引張応力度に短期荷重に対するものを用い，それぞれ 14.7 N/mm^2 及び 294 N/mm^2 として釣合鉄筋比 (p_{tb}) を算出し，スラブの形状から算出される引張鉄筋比 (p_t) と比較した結果を併せて表に示した。いずれのスラブも引張鉄筋比は釣合鉄筋比を下回っている。

屋上スラブのうち，図 6-1-4-2-2-5 に示したスラブ伏図において破線で示した位置について特殊荷重を考慮している。また，スラブの種類も多様であることから，それぞれの種類について最も短辺が長いものを抽出し，図中 A~F のスラブについて健全性評価を実施した。これらから，PR 階及び 5 階スラブは降下火砕物等による静的荷重に耐えうる。

6-1-4-2-2-3 屋上スラブの健全性評価結果

	PR 階スラブ		R 階スラブ			
	A (PRS1)	B (PRS2)	C (RS1)	D (RS2)	E (RS3)	F (RS4)
短辺有効スパン (m)	2.5	3.2	2.4	3.2	3.8	2.9
長辺有効スパン (m)	2.9	5.2	2.4	6.9	6.9	6.9
自重 (N/m ²)	5980	5980	5980	5980	5980	7160
積載荷重 (N/m ²)	880	880	1770	1770	1770	9810
降下火砕物等による荷重 (N/m ²)	8540	8540	8540	8540	8540	8540
W _x (N/m ²)	9.92 × 10 ³	1.35 × 10 ⁴	8.15 × 10 ³	1.56 × 10 ⁴	1.49 × 10 ⁴	2.47 × 10 ⁴
M _{x1} (N)	5.17 × 10 ³	1.15 × 10 ⁴	3.91 × 10 ³	1.33 × 10 ⁴	1.80 × 10 ⁴	1.73 × 10 ⁴
引張鉄筋断面積 (m ²)	3.57 × 10 ⁻⁴	4.95 × 10 ⁻⁴	3.57 × 10 ⁻⁴	4.95 × 10 ⁻⁴	6.34 × 10 ⁻⁴	6.34 × 10 ⁻⁴
有効せり (m)	1.15 × 10 ⁻¹	1.13 × 10 ⁻¹	1.15 × 10 ⁻¹	1.13 × 10 ⁻¹	1.13 × 10 ⁻¹	1.63 × 10 ⁻¹
M (N)	1.05 × 10 ⁴	1.44 × 10 ⁴	1.05 × 10 ⁴	1.44 × 10 ⁴	1.84 × 10 ⁴	2.66 × 10 ⁴
M _{x1} /M	0.49	0.80	0.37	0.92	0.97	0.65

4. 降下火砕物の除去等の対策

(追而)