

伊方発電所 3 号炉 審査資料	
資料番号	SIN3-PLM30-コンクリート

伊方発電所 3 号炉 高経年化技術評価  
(コンクリート構造物および鉄骨構造物)

補足説明資料

令和 6 年 1 月  
四国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る  
事項ですので公開することはできません。

# 目次

1. 概要	1
2. 基本方針	3
3. 代表構造物の選定	5
4. 代表構造物の技術評価	15
5. 代表構造物以外の評価	24
6. まとめ	25

## 別紙

別紙1. 伊方発電所 土木建築設備施設管理マニュアルにおける点検の項目、 方法および判定基準について	1-1
別紙2. 対象構造物および代表構造物の選定過程について	2-1
別紙3. 耐火能力の考え方および耐火能力が要求されている壁の位置について	3-1
別紙4. 土木建築設備に係わる保全管理の文書体系について	4-1
別紙5. 炉心領域部および原子炉容器サポート直下部の1次遮蔽壁における 温度分布解析の方法などについて	5-1
別紙6. 放射線照射量の算出方法などについて	6-1
別紙7. 中性子照射量を踏まえた耐力評価について	7-1
別紙8. 中性化の評価対象および評価点の選定過程について	8-1
別紙9. 中性化深さの推定値の算定過程および結果について	9-1
別紙10. 塩分浸透における評価点の選定過程について	10-1
別紙11. 塩分浸透の評価に用いた塩化物イオン濃度の測定位置、測定方法、 測定結果について	11-1
別紙12. 塩分浸透の評価に用いた鉄筋腐食減量の算定過程および結果について	12-1
別紙13. 機械振動の評価対象の選定過程について	13-1
別紙14. 1984年に実施した化学法および3号炉建設時（1989年～1993年） に実施したモルタルバー法の試験結果について	14-1
別紙15. 伊方3号炉周辺の地下水による劣化影響について	15-1

## 1. 概要

本資料は、コンクリート構造物および鉄骨構造物の高経年化に係わる技術評価の補足として、評価内容の補足資料をとりまとめたものである。

コンクリート構造物および鉄骨構造物の経年劣化事象、劣化要因は表 1 に示すとおり、多岐にわたるため、それぞれの劣化要因ごとに評価が必要である。

表1 コンクリート構造物および鉄骨構造物の経年劣化事象および劣化要因

構造物	経年劣化事象	劣化要因	
コンクリート構造物	強度低下	熱	コンクリートが熱を受けると、温度条件によってはコンクリート中の水分の逸散に伴う乾燥に起因する微細なひび割れ、あるいは水分の移動に起因する空隙の拡大などにより強度が低下する可能性がある。
		放射線照射	コンクリートは、中性子照射やガンマ線照射に起因する内部発熱によるコンクリート中の水分の逸散などにより、強度が低下する可能性がある。
		中性化	コンクリートは空気中の二酸化炭素の作用を受けると、徐々にそのアルカリ性を失い中性化する。 中性化がコンクリートの内部に進行しアルカリ性が失われると鉄筋周囲に生成されていた不動態被膜も失われ、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。さらに、鉄筋の腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。
		塩分浸透	コンクリート中に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで達すると、鉄筋表面の不動態被膜が破壊されるため、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。
		機械振動	機械振動により、コンクリート構造物が長期間にわたって繰返し荷重を受けると、ひび割れの発生、ひいては損傷に至る可能性がある。
		アルカリ骨材反応	コンクリート中の反応性シリカを含む骨材と、セメントなどに含まれるアルカリ（ナトリウムイオンやカリウムイオン）が、水の存在下で反応してアルカリ珪酸塩を生成し、この膨張作用によりコンクリートにひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。
		凍結融解	コンクリート中の水分が凍結し、それが気温の上昇や日射を受けることなどにより融解する凍結融解を繰り返すことでコンクリートにひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。
	遮蔽能力低下	熱	コンクリートは、周辺環境からの伝達熱および放射線照射に起因する内部発熱により、コンクリート中の水分が逸散し、放射線に対する遮蔽能力が低下する可能性がある。
	耐火能力低下	火災時などの熱	コンクリート構造物は、断面厚により耐火能力を確保する設計であるが、火災時に熱により剥落が生じ、部分的な断面厚の減少に伴う耐火能力の低下によりコンクリートの健全性が損なわれる可能性がある。
	鉄骨構造物	強度低下	腐食
風などによる疲労			繰返し荷重が継続的に鉄骨構造物にかかることにより、疲労による損傷が蓄積され、鉄骨の強度低下につながる可能性がある。

## 2. 基本方針

コンクリート構造物および鉄骨構造物の経年劣化事象および劣化要因に対する評価の基本方針は、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」および「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」の記載事項（以下、「審査ガイド等記載事項」という。）を踏まえ、対象構造物について、表1の経年劣化事象の発生の可能性について評価し、その可能性が将来にわたって発生することが否定できない場合は、運転開始後60年経過時点までの期間において、高経年化に関する技術評価を適切に実施し、その結果に基づき長期施設管理方針を適切に策定していることを確認することである。

コンクリート構造物および鉄骨構造物評価についての審査ガイド等記載事項を表2に整理する。

表2 コンクリート構造物および鉄骨構造物評価についての審査ガイド等記載事項

ガイド	記載事項
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド</p>	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド3. 1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p> <p>(2) 長期施設管理方針の審査</p> <p>①長期施設管理方針の策定 すべての追加保全策について長期施設管理方針として策定されているかを審査する。</p>
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド</p>	<p>3. 1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の施設管理に追加すべき保全策（以下、「追加保全策」という。）を抽出すること。</p> <p>イ 実用炉規則第82条第1項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から60年間（ただし、⑧ただし書の規定に該当する場合にはプラントの運転を開始した日から40年間とする。）</p> <p>3. 2 長期施設管理方針の策定及び変更 長期施設管理方針の策定及び変更に当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期施設管理方針を策定すること。</p>

### 3. 代表構造物の選定

#### 3.1 代表構造物の選定手順

コンクリート構造物の強度低下、遮蔽能力低下、耐火能力低下および鉄骨構造物の強度低下が想定される構造物は多数存在するため、高経年化技術評価では、評価対象となる構造物の中から代表構造物を選定して評価を行う。評価対象構造物、代表構造物などは、以下の手順にて選定する。

##### 3.1.1 評価対象構造物の選定とグループ化

多数の構造物の中から、「重要度指針におけるクラス1、2に該当する構造物または該当する機器を支持する構造物」「重要度指針におけるクラス3に該当する高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物」「浸水防護施設に属する構造物」「常設重大事故等対処設備および常設重大事故等対処設備を支持する構造物」に該当する構造物を選定し、コンクリート構造物と鉄骨構造物にグループ化した。なお、選定した対象構造物には、火災防護設備に属する構造物を含む。評価対象構造物の選定とグループ化の結果を表3に示す。

##### 3.1.2 代表構造物の選定

グループ化した評価対象構造物について、使用条件などを考慮して代表構造物を選定した。コンクリート構造物の選定結果を表4に、鉄骨構造物の選定結果を表5にそれぞれ示す。

##### 3.1.3 劣化要因ごとの評価対象部位などの選定

代表構造物について、劣化要因ごとに使用環境などを考慮して評価対象部位、評価点を選定した。



表3 評価対象構造物のグループ化

対象構造物	重要度分類など	コンクリート 構造物	鉄骨構造物
外部遮蔽壁	クラス1設備	○	—
内部コンクリート	クラス1設備支持	○	○ (鉄骨部)
原子炉格納施設基礎	クラス1設備支持	○	—
原子炉建屋	クラス1設備支持	○	○ (鉄骨部)
原子炉補助建屋	クラス1設備支持	○	○ (漏えい防止堰)
焼却炉建家	クラス3設備支持	○	—
タービン建屋	クラス3設備支持	○	○ (鉄骨部)
雑固体処理建屋	クラス3設備支持	○	—
緊急時対策所 (EL. 32m)	常設重大事故等 対処設備	○	—
海水ピット	クラス1設備支持	○	—
海水路	クラス1設備	○	—
海水管ダクト	クラス1設備支持	○	—
D/G燃料タンク基礎	クラス1設備支持	○	—
D/G燃料タンク配管ダクト	クラス1設備支持	○	—
重油タンク基礎	クラス1設備支持	○	—
重油移送配管基礎	クラス1設備支持	○	—
軽油タンク基礎	常設重大事故等 対処設備支持	○	—
空冷式非常用発電装置基礎	常設重大事故等 対処設備支持	○	—
非常用ガスタービン発電機建屋	常設重大事故等 対処設備支持	○	—
非常用ガスタービン 発電機給電用電路基礎	常設重大事故等 対処設備支持	○	—
海水ピット堰	浸水防護施設	—	○
海水ポンプエリア水密ハッチ	浸水防護施設	—	○
海水ポンプエリア水密扉	浸水防護施設	—	○
原子炉建屋水密扉	浸水防護施設	—	○
原子炉補助建屋水密扉	浸水防護施設	—	○

表 4 コンクリート構造物における代表構造物選定結果

対象構造物 (コンクリート構造物)	重要度分類など	運転開始後 経過年数*	高温部の 有無 (1が適度)	放射線の 有無	振動の 有無	設置環境		供給塩化物量	耐火要求 の有無	選定	選定理由
						屋 内	屋 外				
① 外部遮蔽壁	クラス1 設備	28	◇	◇	-	一部 仕上無し	仕上有り	◇	-	◎	屋内で仕上げ無し
② 内部コンクリート	クラス1 設備支持	28	○ (1が適度)	○ (1が適度)	-	仕上有り	/	/	-	◎	高温部、放射線の影響
③ 原子炉格納施設基礎	クラス1 設備支持	28	-	◇	-	仕上有り	埋設*	◇	/	◎	代表構造物を支持する構造物
④ 原子炉建屋	クラス1 設備支持	28	-	◇	-	一部 仕上無し	仕上有り	◇	-	◎	屋内で仕上げ無し
⑤ 原子炉補助建屋	クラス1 設備支持	28	-	◇	◇ (非常用イベル 発電機基礎)	一部 仕上無し	仕上有り	◇	-	◎	振動の影響、 屋内で仕上げ無し
⑥ 焼却炉建家	クラス3 設備支持	40	-	◇	-	一部 仕上無し	仕上有り	◇	-	◎	屋内で仕上げ無し
⑦ タービン建屋	クラス3 設備支持	28	-	-	○ (ボイラ台)	一部 仕上無し	仕上有り	◇	-	◎	振動の影響、 屋内で仕上げ無し
⑧ 雑固体処理建屋	クラス3 設備支持	13	-	◇	-	一部 仕上無し	仕上有り	◇	-	◎	屋内で仕上げ無し
⑨ 緊急時対策所 (EL. 32m)	常設重大事故等 対処設備	7	-	-	-	一部 仕上無し	仕上有り	◇	-		
⑩ 海水ピット	クラス1 設備支持	28	-	-	-	/	一部 仕上無し	○ (海水と接触)	-	◎	供給塩化物量、 屋外で仕上げ無し
⑪ 海水路	クラス1 設備	28	-	-	-	/	仕上無し	○ (海水と接触)	/		
⑫ 海水管ダクト	クラス1 設備支持	28	-	-	-	/	仕上無し	◇	-		
⑬ D/G 燃料タンク基礎	クラス1 設備支持	28	-	-	-	/	仕上無し	◇	-		
⑭ D/G 燃料タンク配管ダクト	クラス1 設備支持	28	-	-	-	/	仕上無し	◇	-		
⑮ 重油タンク基礎	クラス1 設備支持	9	-	-	-	/	仕上無し	◇	/		
⑯ 重油移送配管基礎	クラス1 設備支持	8	-	-	-	/	仕上無し	◇	/		
⑰ 軽油タンク基礎	常設重大事故等 対処設備支持	9	-	-	-	/	埋設*	◇	-		
⑱ 空冷式非常用発電装置基礎	常設重大事故等 対処設備支持	6	-	-	-	/	仕上無し	◇	/		
⑲ 非常用ガスタービン発電機建屋	常設重大事故等 対処設備支持	2	-	-	-	一部 仕上無し	仕上有り	◇	-		
⑳ 非常用ガスタービン発電機給電用 電路基礎	常設重大事故等 対処設備支持	2	-	-	-	/	仕上無し	◇	/		

【凡例】  
 ○：影響大  
 ◇：影響小  
 -：影響極小、または無し

\*1：運転開始後経過年数は、2023年5月時点の年数としている。  
 \*2：他の屋内で仕上げがない構造物で代表させる。  
 \*3：他の屋外で仕上げがない構造物で代表させる。  
 \*4：環境条件の区分として、埋設部より気中部の方が保守的であることから、他の屋外で仕上げがない構造物で代表させる。  
 \*5：常時海水中に没していることから、常時海水と接触し飛沫の影響が大きく、酸素の供給がある海水ピットで代表させる。

表5 鉄骨構造物における代表構造物選定結果

対象構造物 (鉄骨構造物)	重要度分類など	使用条件			選定	選定理由
		運転開始後 経過年数 <sup>*1</sup>	設置環境			
			屋内	屋外		
① 内部コンクリート (鉄骨部)	クラス1 設備支持	28	仕上げ有り	/	◎	運転開始後経過年数
② 原子炉建屋 (鉄骨部)	クラス1 設備支持	28	仕上げ有り	/	◎	運転開始後経過年数
③ タービン建屋 (鉄骨部)	クラス3 設備支持	28	仕上げ有り	/	◎	運転開始後経過年数
④ 原子炉補助建屋 (漏えい防止堰)	常設重大事故等対処設備	7	仕上げ有り	/		
⑤ 海水ピット堰	浸水防護施設	9	/	仕上げ有り		
⑥ 海水ポンプエリア水密ハッチ	浸水防護施設	9	/	仕上げ有り		
⑦ 海水ポンプエリア水密扉	浸水防護施設	10	/	仕上げ有り		
⑧ 原子炉建屋水密扉	浸水防護施設	10	仕上げ有り	/		
⑨ 原子炉補助建屋水密扉	浸水防護施設	10	仕上げ有り	/		

\*1: 運転開始後経過年数は、2023年5月時点の年数としている。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の抽出

高経年化対策上着目すべき経年劣化事象を表6に示す。表1に示した経年劣化事象のうち、後述する①と②以外について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として抽出した。

表6 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

構造物	経年劣化事象	劣化要因
コンクリート 構造物	強度低下	熱
		放射線照射
		中性化
		塩分浸透
		機械振動
	遮蔽能力低下	熱

① 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表7に示す経年劣化事象については、想定した劣化傾向などに基づき適切な保全活動を行っていることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象と判断した。なお、コンクリート構造物および鉄骨構造物の保全活動は、「伊方発電所土木建築設備施設管理マニュアル」（以下、「施設管理マニュアル」という。）に基づき実施している。

具体的な点検および補修の実績を表8に示す。また、施設管理マニュアルにおける点検の項目、方法および判定基準を別紙1に示す。

表7 日常劣化管理事象

構造物	経年劣化事象	劣化要因	理由
コンクリート構造物	強度低下	アルカリ骨材反応	使用している骨材については、試験によりコンクリート構造物の健全性に影響を与えるような反応性がないことを確認しており、また、定期的に施設管理マニュアルに基づく目視確認を行っており、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れなどは認められていない。
		凍結融解	日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」（2022）に示される凍害危険度の分布図によると伊方3号炉の周辺地域は「ごく軽微」よりも危険度が低く、また、定期的に施設管理マニュアルに基づく目視確認を行っており、凍結融解に起因すると判断されるひび割れなどは認められていない。
	耐火能力低下	火災時などの熱	コンクリート構造物は通常の使用環境において、コンクリート構造物の断面厚が減少することはなく、また、定期的に施設管理マニュアルに基づく目視確認を行っており、火災時などの熱に起因すると判断される断面厚の減少は認められていない。
鉄骨構造物	強度低下	腐食	定期的に施設管理マニュアルに基づく目視確認を実施しており、強度に支障をきたす可能性のあるような鋼材の腐食は認められていない。また、鉄骨の強度に支障をきたす可能性があるような鋼材の腐食に影響する塗装の劣化などが認められた場合には、その部分の塗替えなどを行うこととしている。

表8 日常劣化管理事象に関する点検および補修の実績

構造物	経年劣化事象	劣化要因	代表構造物	点検方法	点検頻度	点検結果	補修実績
コンクリート構造物	強度低下	アルカリ骨材反応	外部遮蔽壁 内部コンクリート	目視	1回/年 <sup>※1</sup>	アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れは認められていない	補修実績なし
		凍結融解	原子炉格納施設基礎 原子炉建屋 原子炉補助建屋 焼却炉建家	目視	1回/年 <sup>※1</sup>	凍結融解に起因すると判断されるひび割れは認められていない	補修実績なし
	耐火能力低下	火災時などの熱	タービン建屋 海水ピット	目視	1回/年 <sup>※1</sup>	火災時などの熱に起因すると判断される断面厚の減少は認められていない	補修実績なし
鉄骨構造物	強度低下	腐食	内部コンクリート(鉄骨部) 原子炉建屋(鉄骨部) タービン建屋(鉄骨部)	目視	1回/年 <sup>※1</sup>	強度に支障をきたす可能性のあるような腐食は認められていない	補修実績なし

※1 外部遮蔽壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、タービン架台、海水ピット(水中部)の点検頻度は、1回/1定検サイクル  
タービン建屋の点検頻度は、1回/2年

- ② 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）  
 表9に示す経年劣化事象については、今後も経年劣化事象の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象と判断した。

表9 日常劣化管理事象以外

構造物	経年劣化事象	劣化要因	理由
鉄骨	強度低下	風などによる疲労	煙突などの形状の構造物は、比較的アスペクト比（高さの幅に対する比）が大きく、風の直交方向に振動が発生する恐れがある（日本建築学会「原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説」（2015））。日本建築学会「建築物荷重指針・同解説」（2015）において、アスペクト比が4以上の構造物は風による振動の検討が必要とされているが、鉄骨構造物にアスペクト比が4以上の構造物はない。

### 3.3 劣化要因ごとの評価対象部位の選定結果

経年劣化事象に対する劣化要因ごとの評価対象部位について、選定した結果を表10に示す。



表 10 伊方3号炉 コンクリート構造物および鉄骨構造物に想定される経年劣化事象と評価対象とする構造物

構造種別	コンクリート構造物										鉄骨構造物		
	強度低下					遮蔽能力低下					耐火能力低下		強度低下
経年劣化事象	熱	放射線照射	中性化	塩分浸透	機械振動	アルカリ骨材反応	凍結融解	熱	耐火能力低下	腐食	風などによる疲労		
外部遮蔽壁			屋内面* ○			△	△		△				
内部コンクリート	1次遮蔽壁* ○	1次遮蔽壁* ○				△	△	1次遮蔽壁* ○	△	鉄骨部 △	鉄骨部 ▲		
原子炉格納施設基礎						△	△						
原子炉建屋						△	△		△	鉄骨部 △	鉄骨部 ▲		
原子炉補助建屋						△	△		△				
焼却炉建家			屋内面* ○			△	△		△				
タービン建屋					タービン架台* ○	△	△			鉄骨部 △	鉄骨部 ▲		
海水ピット			気中帯* ○	○		△	△		△				

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表中の○に対応する代表構造物：評価対象とする構造物）

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理対象事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理対象事象以外）

\*：評価対象部位

#### 4. 代表構造物の技術評価

##### 4.1 コンクリートの強度低下

###### 4.1.1 熱による強度低下

###### (1) 評価の概要

評価対象部位は、代表構造物のうち、運転時に最も高温状態となる内部コンクリート（1次遮蔽壁）とした。

評価点は、ガンマ発熱の影響の最も大きい炉心領域部および原子炉容器サポート（RVサポート）直下部とした。1次遮蔽壁の概要を図1に示す。

評価については、コンクリートの温度制限値と温度分布解析の結果を比較して行った。

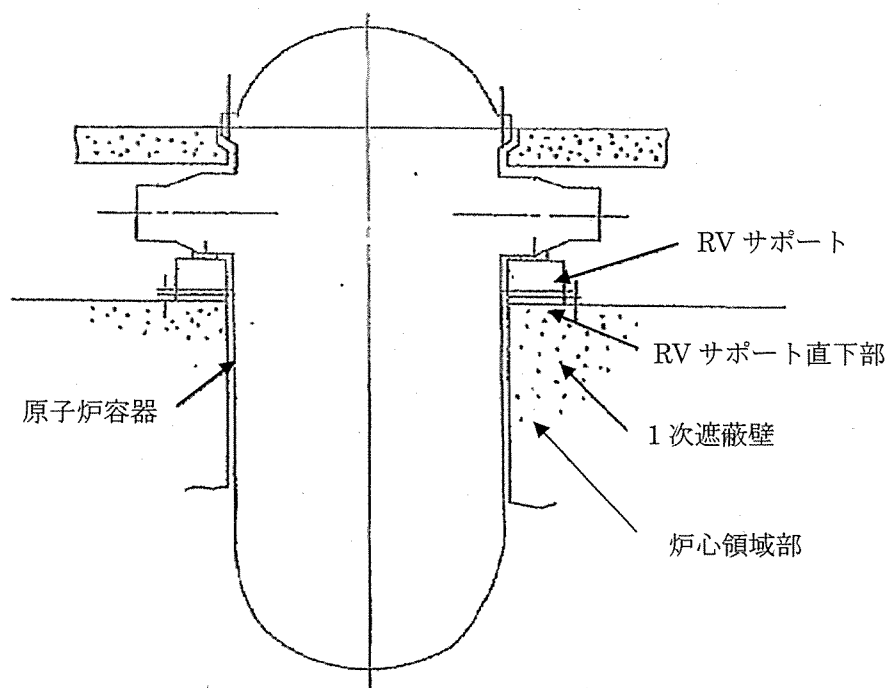


図1 1次遮蔽壁の概要

###### (2) 評価結果

解析の結果、コンクリートの最高温度は約55.0℃であり、制限値<sup>1)</sup>である65℃以下であるため、長期健全性評価上問題とはならない。

#### 4.1.2 放射線による強度低下

##### (1) 評価の概要

評価対象部位は内部コンクリートの1次遮蔽壁とし、評価点を中性子およびガンマ線照射量が最大となる1次遮蔽壁炉心側コンクリートとした。

評価については、評価点における運転開始後60年経過時点で予想される中性子照射量およびガンマ線照射量を解析により算出し、既往の知見によりコンクリート強度の低下が確認されている中性子照射量およびガンマ線照射量の閾値と比較して行った。

##### (2) 評価結果

###### a) 中性子照射量

中性子照射量と強度の関係に関しては、従来、Hilsdorf 他の文献<sup>2)</sup>における「中性子照射したコンクリートの圧縮強度 ( $f_{cu}$ ) と照射しないコンクリートの圧縮強度 ( $f_{cu0}$ ) の変化」を参照していた。一方、小嶋ほかの試験結果<sup>3)</sup>を踏まえた最新知見によると、コンクリートの圧縮強度は、 $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  の中性子照射量 ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) から低下する可能性があることが確認されている。

伊方3号炉の運転開始後60年経過時点における中性子照射量 ( $E > 0.098 \text{ MeV}$ ) は約  $5.2 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  で、照射量が  $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  を超える範囲は、深さ方向に最大でも12cm程度であり、1次遮蔽壁の厚さ(最小壁厚279cm)に比べて十分小さい。また、照射量が  $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  を超える範囲を除いた構造体の耐力が地震時の鉛直荷重などの設計荷重を上回ることを、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG 4601-1987)」に基づく内部コンクリートの最大せん断ひずみ評価に対して影響がないことを確認している。

###### b) ガンマ線照射量

ガンマ線照射量とコンクリート強度の関係に関する Hilsdorf 他の文献<sup>2)</sup>によると、少なくとも  $2 \times 10^8 \text{ Gy}$  ( $2 \times 10^{10} \text{ rad}$ ) 程度のガンマ線照射量では有意な強度低下はみられない。

伊方3号炉の運転開始後60年経過時点におけるガンマ線照射量は約  $1.6 \times 10^8 \text{ Gy}$  (約  $1.6 \times 10^{10} \text{ rad}$ ) で、 $2 \times 10^8 \text{ Gy}$  ( $2 \times 10^{10} \text{ rad}$ ) を下回っていることから、内部コンクリート(1次遮蔽壁)の強度への影響はないものと考えられる。

以上から、放射線照射による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とはならない。

#### 4.1.3 中性化による強度低下

##### (1) 評価の概要

評価対象部位の候補としては、代表構造物全て（外部遮蔽壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉建屋、原子炉補助建屋、焼却炉建家、タービン建屋、海水ピット）が該当する。

このうち、評価対象部位および評価点として、空気環境の違いが中性化の進展に影響を与えることを踏まえ、屋内については空気環境の実測値を踏まえた中性化への影響度が最も大きい外部遮蔽壁の屋内面、運転開始後経過年数が長い焼却炉建家の屋内面、屋外については空気環境に大きな違いが生じないため、空気との接触時間が長い海水ピットの気中帯を選定した。

評価については、以下の手順にて実施した。

##### a) 中性化深さの推定

中性化深さを推定する式（中性化深さの実測値、空気環境値などを入力）により、運転開始後60年経過時点の中性化深さを算出（岸谷式<sup>4)</sup>、森永式<sup>5)</sup>および実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式<sup>6)</sup>）

##### b) 最大中性化深さ推定値の抽出

中性化深さを推定する式により得られる中性化深さのうち、最大値となる中性化深さを抽出

##### c) 鉄筋が腐食し始める時の中性化深さの算出

鉄筋が腐食し始める時の中性化深さとして、屋内はかぶり厚さに2cmを加えた値、屋外はかぶり厚さの値をそれぞれ算出

##### d) 運転開始後60年経過時点の中性化深さの評価

b) と c) の中性化深さを比較

##### (2) 評価結果

表11に示すとおり、運転開始後60年経過時点における中性化深さが最大となる評価点において、鉄筋が腐食し始める時の中性化深さを下回っていることから、長期健全性評価上問題とはならない。

表 11 運転開始後 60 年経過時点と鉄筋が腐食し始める時点の中性化深さの比較

	調査時点の中性化深さ			3号炉運転開始後 60年経過時点の 中性化深さ*2 (cm) (推定式)	鉄筋が腐食 し始める時の 中性化深さ (cm)
	経過年数	実測値 (cm)	推定値 (cm) (推定式)		
外部遮蔽壁 (屋内面)	26年	0.4	3.2 (森永式)	4.8 (森永式)	7.0
焼却炉建家 (屋内面)	38年*1	1.5	3.0 (岸谷式)	4.1*3 (岸谷式)	7.0
海水ピット (気中帯)	26年	0.3	1.5 (岸谷式)	2.2 (岸谷式)	8.5

\* 1 : 焼却炉建家運用開始後の経過年数を示す。3号炉運転開始後の経過年数は26年

\* 2 : 岸谷式、森永式および実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式による評価結果のうち最大値を記載

\* 3 : 焼却炉建家運用開始後の経過年数 (72年) での値を記載

#### 4.1.4 塩分浸透による強度低下

##### (1) 評価の概要

評価対象部位については、海水に接触するため供給塩分量が多い海水ピットを選定した。評価点については、潮位により環境条件の異なる気中帯、干満帯および海中帯を選定した。気中帯、干満帯および海中帯の区分は、朔望平均潮位に基づき、設定した。

評価については、以下の手順にて実施した。

##### a) 運転開始後60年経過時点における鉄筋腐食減量の算出

①調査における塩化物イオン濃度の測定結果をもとに、拡散方程式の解を回帰

②拡散方程式の解を用いて、運転開始後60年経過時点までの鉄筋位置における塩化物イオン濃度を算定

③森永式<sup>5)</sup>と運転開始後60年経過時点までの鉄筋位置における塩化物イオン濃度を用いて、運転開始後60年経過時点までに累積する鉄筋腐食減量を算定

##### b) かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点における鉄筋腐食減量の算出

森永式と鉄筋径およびかぶり厚さを用いて、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点における鉄筋腐食減量を算定

##### c) 運転開始後60年経過時点における鉄筋腐食減量の評価

a) と b) の鉄筋腐食減量を比較

##### (2) 評価結果

表12に示すとおり、運転開始後60年経過時点における鉄筋腐食減量は、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量を下回っていることから、長期健全性評価上問題とはならない。

表12 運転開始後60年経過時点と  
かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量の比較

	経過年数	鉄筋位置での 塩化物イオン 濃度および量 (測定結果) 上段 (%) 下段 (kg/m <sup>3</sup> )	鉄筋の腐食減量 ( $\times 10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )		
			調査時点	運転開始後 60年経過 時点	かぶりコンクリート にひび割れが発生す る時点
海水ピット (気中帯)	26年	0.01 (0.20)	3.0 (森永式)	7.3 (森永式)	90.1 (森永式)
海水ピット (干満帯)	26年	0.01 (0.15)	2.9 (森永式)	6.7 (森永式)	120.0 (森永式)
海水ピット (海中帯)	26年	0.01 (0.18)	0.0 (森永式)	0.0 (森永式)	120.0 (森永式)

#### 4.1.5 機械振動による強度低下

##### (1) 評価の概要

評価対象部位の候補としては、代表建造物のうち原子炉補助建屋（非常用ディーゼル発電機基礎）およびタービン建屋（タービン架台）が該当する。

このうち、より振動の影響を受けるタービン建屋（タービン架台）を評価対象部位とし、評価点として、局部的に影響を受ける可能性がある基礎ボルト周辺のコンクリートを選定した。

##### (2) 評価結果

60年間の供用を想定すると、基礎ボルト周辺に機械振動によるひび割れが発生し強度低下が生じる可能性は否定できないものの、機械振動により機器のコンクリート基礎への定着部の支持力が失われるような場合、機械の異常振動や定着部周辺コンクリート表面に有意なひび割れが発生するものと考えられるため、目視確認でひび割れの発生が検知可能である。

また、定期的に目視確認を実施しており、機械振動に起因する有意なひび割れなどは認められていない。

以上から、機械振動による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とはならない。

#### 4.1.6 コンクリートの強度試験結果

コンクリート構造物における現状のコンクリート強度は、代表構造物から試料を採取し、圧縮強度試験により確認した。その結果を表 13 に示す。

各代表構造物の平均圧縮強度が設計基準強度を上回っていることを確認した。

表 13 コンクリートの強度試験結果

代表構造物	実施時期 ( 運転開始後 経過年数 )	平均圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )
外部遮蔽壁	2021年 (26年)	41.2	26.5
内部コンクリート	2021年 (26年)	44.6	26.5
原子炉格納施設基礎	2021年 (26年)	41.1	26.5
原子炉建屋	2021年 (26年) 2023年 (28年)	37.3	26.5
原子炉補助建屋	2021年 (26年)	35.1	26.5
焼却炉建家	2021年 (38年)	34.1	20.6
タービン建屋	2021年 (26年)	43.8	20.6
海水ピット	2021年 (26年) 2023年 (28年)	51.5	23.5



#### 4.2 コンクリートの遮蔽能力低下

##### (1) 評価の概要

評価対象部位は内部コンクリート（1次遮蔽壁）とし、評価点は運転時に最も高温となる炉心領域部および原子炉容器サポート（RVサポート）直下部を選定した。評価については、制限値と温度分布解析の結果を比較して行った。

##### (2) 評価結果

解析の結果、コンクリートの最高温度は炉心領域部で約55.0℃であり、中性子遮蔽の88℃、ガンマ線遮蔽の177℃の制限値<sup>7)</sup>以下であることから、長期健全性評価上問題とはならない。

#### 4.3 現状保全

コンクリートの強度低下については、定期的を目視確認を実施し、強度に支障をきたす可能性のあるような有意な欠陥がないことを確認し、必要に応じて塗装の塗替えなどの補修を実施している。あわせて、強度に急激な経年劣化が生じていないことを、非破壊試験による点検において、定期的を確認している。

コンクリートの遮蔽能力低下については、定期的を目視確認を実施し、遮蔽能力に支障をきたす可能性があるひび割れなどの有意な欠陥がないことを確認している。

#### 4.4 総合評価

コンクリートの強度低下については、現状において設計基準強度を上回っており、強度低下が急激に発生する可能性は極めて小さいと考えられる。また、ひび割れなどについては目視確認で検知可能であり、必要に応じて塗装の塗替えなどの補修を実施していることから、保全方法は適切であり、現状保全を継続することにより健全性の維持は可能である。

コンクリートの遮蔽能力低下については、遮蔽能力の低下の可能性はないと考えられる。また、ひび割れなどについては目視確認で検知可能であり、保全方法は適切であり、現状保全を継続することにより、健全性の維持は可能である。

#### 4.5 高経年化への対応

今後も現状の保全方法により健全性を確認していくものとし、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはない。

## 5. 代表構造物以外の評価

### 5.1 グループ内全構造物への展開

コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価については、代表構造物について、各経年劣化事象に影響を及ぼす要因ごとに使用条件などを考慮して実施しており、グループ内構造物の使用条件は代表構造物の使用条件に含まれているため、技術評価結果も代表構造物の評価結果に含まれた結果となる。

## 6. まとめ

### 6.1 審査ガイド等に対する確認結果

「2. 基本方針」で示した審査ガイド等記載事項に対して高経年化に関する技術評価を適切に実施していることを確認した。コンクリート構造物および鉄骨構造物についての審査ガイド等記載事項との対比を表 14 に示す。

表 14 コンクリート構造物および鉄骨構造物についての審査ガイド等記載事項との対比

ガイド	記載事項	技術評価結果
実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド	3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点 (1) 高経年化技術評価の審査 ⑫健全性の評価 実施ガイド3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。	「4. 代表構造物の技術評価」に示すとおり、代表構造物について運転開始後 60 年経過時点を想定した健全性評価を実施した。
	⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。	「4.3 現状保全」に示すとおり、健全性評価結果から、現状の保全策が妥当であることを確認した。
	⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。	「4.5 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべき新たな保全策はなかった。
	(2) 長期施設管理方針の審査 ①長期施設管理方針の策定 すべての追加保全策について長期施設管理方針として策定されているかを審査する。	「4.5 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断した。 「6.2 施設管理に関する方針として策定する事項」に示すとおり、長期施設管理方針として策定する事項は抽出されなかった。
実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド	3. 1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。 ⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の施設管理に追加すべき保全策（以下、「追加保全策」という。）を抽出すること。 イ.実用炉規則第 82 条第 1 項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から 60 年間（ただし、⑧ただし書の規定に該当する場合にはプラントの運転を開始した日から 40 年間とする。）	「4.5 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加する新たな保全策はなかった。
	3. 2 長期施設管理方針の策定及び変更 長期施設管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。 ①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたもの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。 なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期施設管理方針を策定すること。	「4.5 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断した。 「6.2 施設管理に関する方針として策定する事項」に示すとおり、長期施設管理方針として策定する事項は抽出されなかった。

6.2 長期施設管理方針として策定する事項

コンクリート構造物および鉄骨構造物に関する評価について、長期施設管理方針として策定する事項は抽出されなかった。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会「原子炉建屋構造設計指針・同解説」(1988)
- 2) Hilsdorf、Kropp、and Koch、「The Effects of Nuclear Radiation on the Mechanical Properties of Concrete」、American Concrete Institute Publication、SP 55-10. 1978
- 3) 小嶋他、NTEC-2019-1001「中性子照射がコンクリートの強度に及ぼす影響」(2019)
- 4) 日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説」(1991)
- 5) 森永繁「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究—東京大学学位論文」(1986)
- 6) 土木学会「コンクリート標準示方書 維持管理編」(2022)
- 7) 「コンクリート遮蔽体設計規準」(R.G.Jaeger et al. 「Engineering Compendium on Radiation Shielding(ECRS) VOL.2」)(1975)

タイトル	伊方発電所 土木建築設備施設管理マニュアルにおける点検の項目、方法および判定基準について
説明	<p>伊方発電所 土木建築設備施設管理マニュアルに基づき定期的を実施する点検の項目、方法および判定基準を以下に示す。</p> <p>添付 1 定期点検一覧表 添付 2 健全度評価基準 添付 3 点検・調査結果判定基準表 添付 4 コンクリート構造部および鉄骨構造部点検要領</p>



定期点検一覧表

	外観点検	非破壊調査
コンクリート構造物	1回/1年※1	1回/5年
鉄骨構造物	1回/1年※1	—

※1 外部遮蔽壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、タービン架台および海水ピット  
(水中部)の点検頻度は、1回/1定検サイクル  
タービン建屋の点検頻度は、1回/2年

健全度評価基準

添付資料-4

健全度評価基準

健全度	評価基準	対応
A	・健全	<ul style="list-style-type: none"> <li>・必要に応じて、過去の点検データならびに材料、設置環境、使用頻度等から劣化発生の有無や進展速度を考慮の上、点検・調査項目・頻度の変更について検討する</li> </ul>
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・劣化・損傷等の異常は軽微だが、継続的に進行状態を観察する必要がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原則として補修等の対応は必要ないが、その状況を記録にとどめておき、次回の点検時において劣化、損傷の進行度合いを確認する</li> </ul>
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・劣化・損傷等があり、計画的に補修する必要がある</li> <li>・放置しておくとは将来的に機能喪失につながると予想される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原則として早急に補修を実施する必要が無いが、他の補修計画を考慮した上で弾力的に対応する</li> </ul>
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・劣化・損傷等の異常が著しく、速やかに補修する必要がある</li> <li>・放置しておくとは至近に機能喪失につながると予想される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・可能な限り早急に補修を講ずることを原則とする</li> </ul>
E	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機能喪失状態にあり、緊急に対策の必要がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・緊急に補修を実施すべきであり、実施できない場合は少なくとも応急的な処置を行い、当面の安全策を講ずる</li> </ul>
Q	<ul style="list-style-type: none"> <li>・劣化・損傷等の発生原因が不明な場合などで、定期点検では適切な判断が困難</li> <li>・柱、梁、耐震壁等構造上重要な躯体の不具合事象に進展性が見られる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重要度等に応じて詳細調査を計画・実施する</li> </ul>

※廃止措置段階の設備において、性能維持施設および法律等により保全が定められているもの以外については「事後保全」とする

点検・調査結果判定基準表

1. 土木設備

対象部位・機器	分類 <sup>※1</sup>	要求機能	要求機能担保のための管理項目	点検・調査項目	点検・調査内容	健全度						備考
						A	B	C	D	E	Q	
配電盤	①	安全上特に重要な配電設備(原子炉補機舎内海水系)	強度 使用性(漏水性)	非密着調査	材料強度 ひび割れ	設計基準強度以上 ひび割れが認められない 幅<0.2mm 幅<0.4mm	前回数と比較して進行性がある 0.4mm<幅<0.6mm	-	-	機械損失に等しい損傷が認められる	指定値が設計基準強度未満 前回数と比較して進行性がある	
	①	電源供給設備(循環水系)	強度	外観点検	剥離・剥落 腐食	剥離・剥落が認められない	剥離・剥落が認められる	剥離・剥落により、経路が露出している	-	機械損失に等しい損傷が認められる	-	
	①	配電盤(海水系)	強度	外観点検	剥離・剥落 腐食	剥離・剥落が認められない	剥離・剥落が認められる	剥離・剥落により、経路が露出している	-	機械損失に等しい損傷が認められる	-	
	②	地震による損傷の防止	強度	外観点検	ひび割れ <sup>※2</sup> (樹脂系2次元止水)	ひび割れが認められない	ひび割れが認められる	前回数と比較して進行性がある	前回数と比較して進む進行性がある	機械損失に等しい損傷が認められる	-	
	②	外部からの衝撃による損傷の防止(電管)	強度	実地測定	ジョイント部の変位	前回数と比較して進行性がない 変位が認められる	前回数と比較して進行性がある	前回数と比較して進む進行性がある	前回数と比較して進む進行性がある	機械損失に等しい損傷が認められる	-	
	②	火災による損傷の防止(貯蔵槽)	強度	外観点検	剥離・剥落	剥離・剥落が認められない	剥離・剥落が認められる	剥離・剥落により、経路が露出している	剥離・剥落により、経路が露出している	機械損失に等しい損傷が認められる	-	
	②	原子炉制御室等(原住性)	強度	外観点検	剥離・剥落	剥離・剥落が認められない	剥離・剥落が認められる	剥離・剥落により、経路が露出している	剥離・剥落により、経路が露出している	機械損失に等しい損傷が認められる	-	
	②	放射線物質による汚染の防止	強度	外観点検	ひび割れ	ひび割れが認められない	ひび割れが認められる	前回数と比較して進行性がある	前回数と比較して進む進行性がある	機械損失に等しい損傷が認められる	-	
	②	緊急時対策(原住性)	強度	外観点検	剥離・剥落	剥離・剥落が認められない	剥離・剥落が認められる	剥離・剥落により、経路が露出している	剥離・剥落により、経路が露出している	機械損失に等しい損傷が認められる	-	
	②	その他自ら定める設備	強度	外観点検	剥離・剥落	剥離・剥落が認められない	剥離・剥落が認められる	剥離・剥落により、経路が露出している	剥離・剥落により、経路が露出している	機械損失に等しい損傷が認められる	-	
水密扉	①	緊急時の対策上重要なもの及び異常状態の把握機能(消防系)	形状(型庫)	外観点検	剥離・剥落	剥離・剥落が認められない [要対策<欠損(型庫面)]	剥離・剥落が認められる [要対策<欠損(型庫面)]	剥離・剥落が認められる [要対策<欠損(型庫面)]	剥離・剥落が認められる [要対策<欠損(型庫面)]	剥離・剥落が認められる [要対策<欠損(型庫面)]	剥離・剥落が認められる [要対策<欠損(型庫面)]	
	②	地震による損傷の防止	強度	外観点検	損傷 変形 腐食 他	外観に異常が認められない (機能上問題なし)	外観に異常が認められる (機能上問題あり)	外観に異常が認められる (機能損失に等しい有り)	外観に異常が認められる (機能損失に等しい有り)	剥離・剥落が認められる 止水性が維持できない	-	
	②	津波による損傷の防止	状態(止水性)	外観点検	動作状態	閉まる	閉まらない	閉まらぬ	閉まらぬ	閉まらぬ	-	
	②	発電用原子炉施設内における海水等による損傷の防止	動作(閉)	外観点検	密着性	光が漏れない	光が漏れる	光が漏れる	光が漏れる	光が漏れる	-	

点検・調査結果判定基準表

2. 建築設備

対象部位・機器	要求機能 分類別	要求機能 ための管理項目	点検・調査 項目	点検・調査 内容	健全度					備考			
					A	B	C	D	E		Q		
躯体 RC造	躯体全般	-	外観点検	屋外	幅<0.3mm ひび割れ (使用性)	0.3mm<幅<0.8mm	-	0.8mm<幅	-	-	-		
				屋内	幅<0.4mm	0.4mm<幅<1.0mm	-	1.0mm<幅	-	-	-	-	
柱、梁、床、基礎 (強度が要求される部位)	① 支持機能 ② 地震による損傷の防止 ③ 外部からの衝撃による損傷の防止(地震) ④ 外部からの衝撃による損傷の防止(火山) ⑤ 特定重大事故等対応施設	強度	非破壊調査	材料強度	測定値が 設計基準強度以上	-	-	-	-	-	測定値が 設計基準強度未満		
				ひび割れ (構造変位)	構造安全性に影響を及ぼさ ないひび割れが認められる	-	-	構造安全性に影響を及ぼさ ないひび割れが認められる	-	-	-	強度低下に起因する深い損傷が 認められる	
				剥離腐食	剥離が認められない	-	-	剥離が認められる	-	-	-	強度低下に起因する深い損傷が 認められる	
				剥離・剥落	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	強度低下に起因する深い損傷が 認められる	
				外観	区画で区別されている (区画・漏れと区別が不明)	-	-	区画で区別されている (区画・漏れと区別が不明)	-	-	-	-	
				剥離・剥落	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観点検	剥離・剥落	剥離・剥落が認められる	-	-	剥離・剥落が認められる (区別不明・欠損箇所)	-	-	-	-
				外観点検	外観	剥離・剥落が認められる	-	-	剥離・剥落が認められる (区別不明・欠損箇所)	-	-	-	-
				外観点検	外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-
				外観点検	外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-
壁 (外壁区画壁)	① 防火の防止 ② 居住性確保等の居住性 ③ 緊急時避難誘導(居住性) ④ 居住性確保等の居住性(居住性) ⑤ 緊急時避難誘導(居住性) ⑥ 居住性確保等の居住性(居住性) ⑦ 緊急時避難誘導(居住性) ⑧ 居住性確保等の居住性(居住性) ⑨ 緊急時避難誘導(居住性) ⑩ 居住性確保等の居住性(居住性)	形状 剥離・剥落	外観点検	外観	剥離・剥落が認められない	-	-	-	-	-	剥離・剥落が認められる (区別不明・欠損箇所)		
				剥離・剥落	剥離・剥落が認められる	-	-	剥離・剥落が認められる (区別不明・欠損箇所)	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
壁 (柱・梁・床・基礎)	① 防火の防止 ② 居住性確保等の居住性 ③ 緊急時避難誘導(居住性) ④ 居住性確保等の居住性(居住性) ⑤ 緊急時避難誘導(居住性) ⑥ 居住性確保等の居住性(居住性) ⑦ 緊急時避難誘導(居住性) ⑧ 居住性確保等の居住性(居住性) ⑨ 緊急時避難誘導(居住性) ⑩ 居住性確保等の居住性(居住性)	形状 剥離・剥落	外観点検	外観	剥離・剥落が認められない	-	-	-	-	-	剥離・剥落が認められる (区別不明・欠損箇所)		
				剥離・剥落	剥離・剥落が認められる	-	-	剥離・剥落が認められる (区別不明・欠損箇所)	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
屋根	① 支持機能 ② 地震による損傷の防止 ③ 外部からの衝撃による損傷の防止(地震) ④ 外部からの衝撃による損傷の防止(火山) ⑤ 特定重大事故等対応施設	強度	外観点検	屋根	剥離・剥落が認められない	-	-	-	-	-	剥離・剥落が認められる (区別不明・欠損箇所)		
				剥離・剥落	剥離・剥落が認められる	-	-	剥離・剥落が認められる (区別不明・欠損箇所)	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
基礎	① 支持機能 ② 地震による損傷の防止 ③ 外部からの衝撃による損傷の防止(地震) ④ 外部からの衝撃による損傷の防止(火山) ⑤ 特定重大事故等対応施設	強度	外観点検	基礎	剥離・剥落が認められない	-	-	-	-	-	剥離・剥落が認められる (区別不明・欠損箇所)		
				剥離・剥落	剥離・剥落が認められる	-	-	剥離・剥落が認められる (区別不明・欠損箇所)	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	
				外観	剥離・剥落が認められない	-	-	剥離・剥落が認められる	-	-	-	-	

コンクリート構造部および鉄骨構造部点検要領

(別冊-1)

コンクリート構造部および鉄骨構造部点検要領

1. 適用範囲

この点検要領は、土木建築設備の躯体および機器支持部におけるコンクリート構造部および鉄骨構造部に適用する。

2. 点検要領

土木設備におけるコンクリート構造部の点検要領を別表-1に、建築設備におけるコンクリート構造部および鉄骨構造部の点検要領を別表-2示す。

また、コンクリート構造部および鉄骨構造部に劣化が認められた場合は、別表-3（コンクリート構造部 劣化原因推定項目）、別表-4（鉄骨構造部 劣化原因推定項目）等を参考に劣化原因を推定し、記録する。

3. その他

この点検要領に記載なき事項については、「土木建築設備施設管理マニュアル」の本文による。

別表-1 (土木設備) コンクリート構造部の点検要領

点検・調査項目	点検・調査内容	記録方法
外観点検 気中部 <sup>※</sup> 水中部 <sup>※</sup> 放水可 放水不可	目視にて、ひび割れの有無・範囲を確認し、ひび割れスケール等を用いて、ひび割れの幅・長さ・位置を計測する。 ハンマー等を用いて、剥離・剥落の有無・範囲を確認する。 目視にて、鉄筋腐食、漏水等の有無を確認する。 目地部等で変状がある場合は、変位量を計測する。 潜水作業によるビデオ・写真撮影または水中テレビロボットによるビデオ撮影により、ひび割れ、剥離・剥落や鉄筋腐食等の有無・範囲を確認する。	管理番号を付与し、写真、図面等を用いて、確認・計測結果を記録する。
移動測定	測量器具を用いて、発電所構内に設置している基準点の健全性を確認した後、構造物の水平移動量を測定する。 なお、精度は基準点測量の3級相当以上とする。	構造物の挙動が把握できるよう、測量結果の表およびグラフ等を作成する。
沈下測定	測量器具を用いて、発電所構内に設置している水準点の健全性を確認した後、構造物の沈下量を測定する。 なお、精度は水準点測量の3級相当以上とする。	構造物の挙動が把握できるよう、測量結果の表およびグラフ等を作成する。
内部調査	コンクリート蓋を開放した上でダクト内部等を対象に、外観点検と同様の点検・調査内容にて実施する。	管理番号を付与し、写真、図面等を用いて、計測・確認結果を記録する。
非破壊調査	リバウンドハンマーによりコンクリート反発硬度の測定を実施する。測定方法については、JIS A 1155「コンクリートの反発硬度の測定方法」に基づき実施する。	写真、図面を用いて、調査位置、測定結果を記録する。 反発硬度を基に圧縮強度の推定値を算出する。推定にあたっては、材料学会式の評価値を材齢補正係数により補正する。

※取放水設備（取水ピット・取水路・放水ピット・放水路・海水ピット・海水路）に適用する。

別表-2 (建築設備) コンクリート構造部および鉄骨構造部の点検要領

点検・調査項目		点検・調査内容	記録方法
コンクリート構造部	外観点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視にて、ひび割れの有無・パターンを確認し、ひび割れスケール等を用いて、ひび割れの幅・長さ・位置を計測する。</li> <li>ハンマー等を用いて、剥離・剥落の有無・範囲を確認する。</li> <li>目視にて、鉄筋腐食（錆汁）、鉄筋露出、漏水等の有無を確認する。</li> </ul>	管理番号を付与し、写真、図面を用いて、確認・計測結果を記録する。
	非破壊調査	リバウンドハンマーによりコンクリート反発硬度の測定を実施する。測定方法については、JIS A 1155「コンクリートの反発度の測定方法」に基づき実施する。	写真、図面を用いて、調査位置、測定結果を記録する。反発硬度を基に圧縮強度の推定値を算出する。推定にあたっては、材料学会式の評価値を材齢補正係数により補正する。
鉄骨構造部	外観点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視にて、塗膜・皮膜の異常の有無、過大な変形の有無を確認する。</li> <li>部材表面の錆の状態、塗膜・皮膜劣化の有無、鋼材の腐食による断面積の減少の有無を確認する。</li> <li>目視にて、接合部のすべり・き裂・破断、ボルトのゆるみ・破断に関連する塗膜の異常の有無を確認する。</li> </ul>	写真、図面を用いて、劣化箇所毎に状態を記録する。

別表-3 コンクリート構造部 劣化原因推定項目

項 目	中性化	塩分浸透	アルカリ骨材反応	その他
ひび割れの進行性かどうか	○	○	○	○
アルカリ骨材反応に由来する特徴的なひび割れ(亀甲状等)は発生しているか	-	-	○	-
ひび割れが主筋方向に沿って直線的であるか	○	○	○	○
剥離・剥落の有無	○	○	○	○
変色の有無	-	-	○	○
ひび割れからの漏水の有無	○	○	○	○
ひび割れからの錆汁の有無	○	○	○	○
ひび割れからの遊離石灰(エフロレッセンス)の有無	○	○	○	○
雨水等の水分が供給される環境にある	-	○	○	○
白色のゲル状物質の析出	-	-	○	-
海水の影響を受ける設備か否か	-	○	-	-
CO <sub>2</sub> の供給量が多い(屋内・屋外)	○	-	-	-
保護塗膜の劣化の有無	-	-	-	○
常に機器等の振動を受ける	-	-	-	○
空調等により強制乾燥されている	-	-	-	○
ひび割れ発生個所が断面の大と小の境界部である	-	-	-	○
隅角部の応力集中	-	-	-	○
ひび割れ発生個所が打継目・コールドジョイントである	-	-	-	○
不等沈下によるひび割れ	-	-	-	○
地震・火災後発生したひび割れである	-	-	-	○
常時運転時において高温に曝されている	-	-	-	○
放射線の照射を長期間にわたって受けている	-	-	-	○

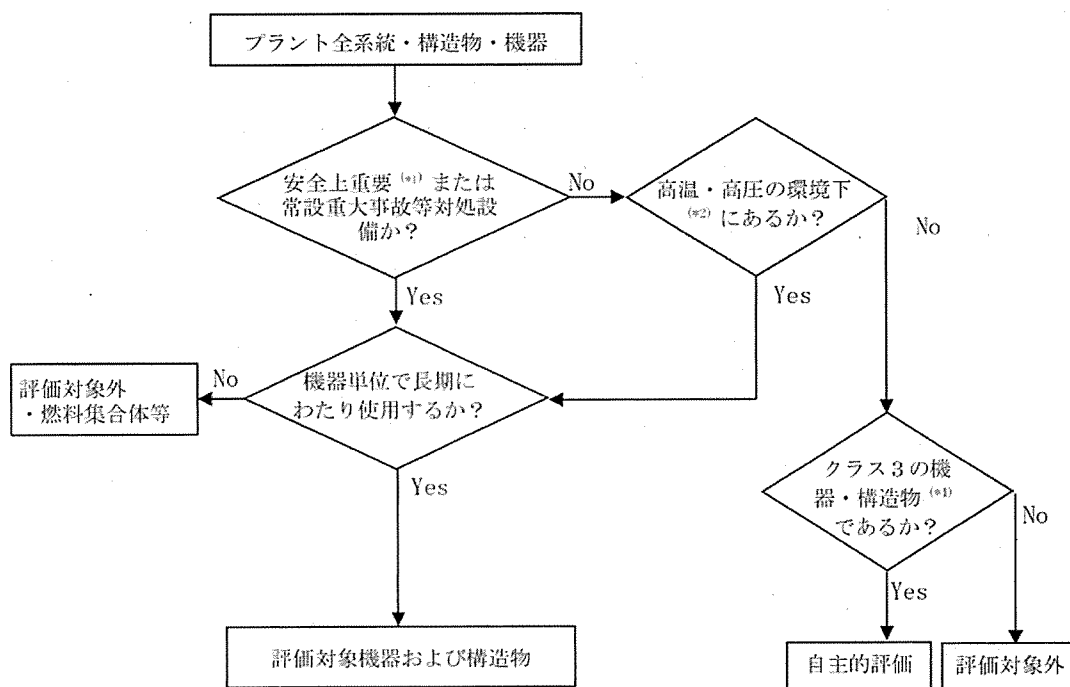


別表-4 鉄骨構造部 劣化原因推定項目

項 目	塗膜劣化	皮膜劣化 〔無鉛めっき 皮膜消失〕	その他	
			地震・台風 などの荷重	火災による 熱
塗膜・皮膜の異常の有無	○	○	—	—
鋼材の腐食（発錆・断面欠損）の有無	○	○	—	—
鋼材の降伏・座屈・きれつ・破断・過大変形 の有無	—	—	○	○
接合部のすべり・きれつ・破断の有無	—	—	○	○
ボルトのゆるみ・破断の有無	—	—	○	○
熱による鋼材の強度低下の有無	—	—	—	○

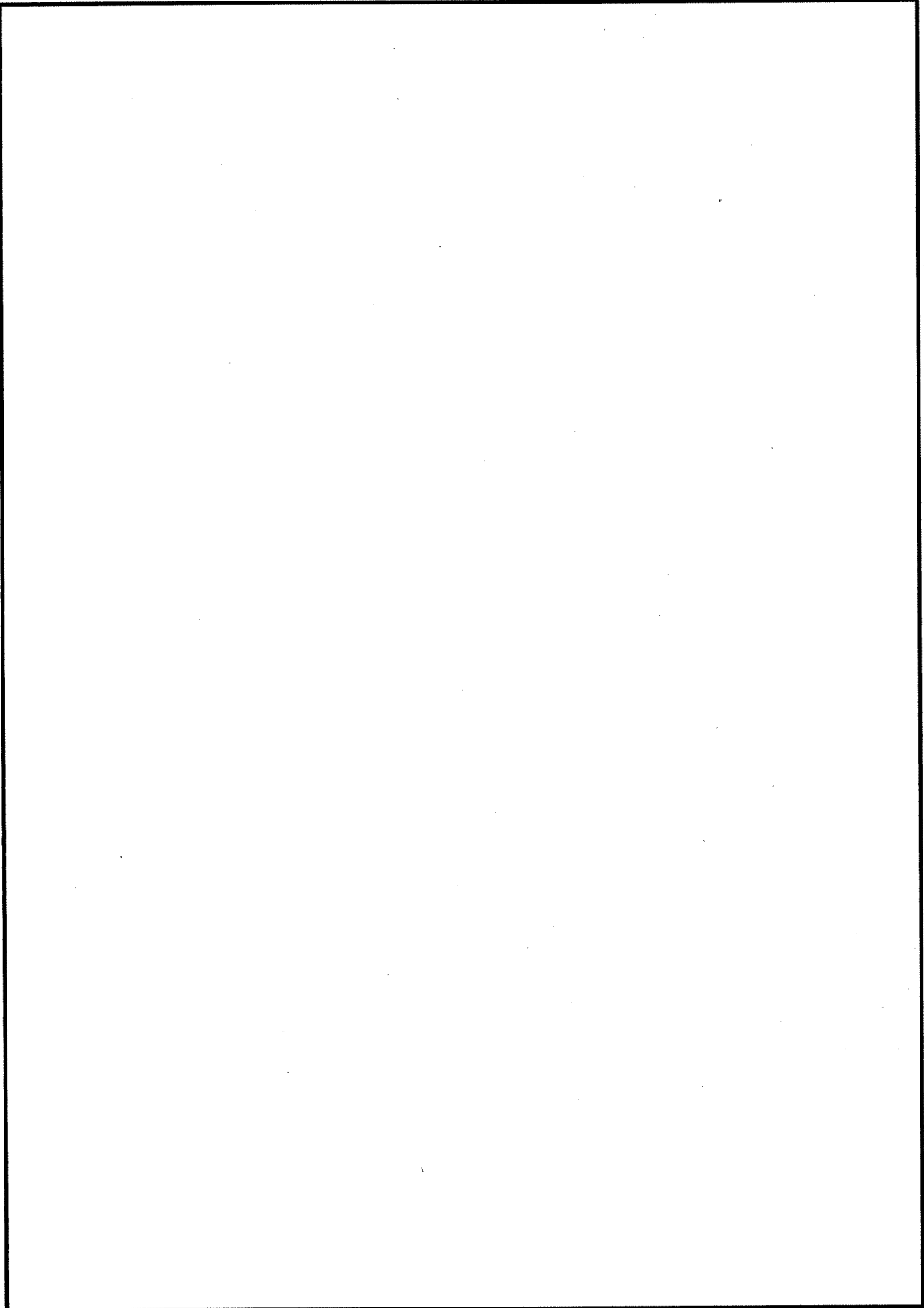
タイトル	対象構造物および代表構造物の選定過程について
説明	<p>伊方3号炉におけるコンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価について、対象構造物および代表構造物の選定過程を以下に示す。</p> <p>1. 対象構造物の選定 対象構造物は、安全重要度分類審査指針<sup>※1</sup>およびこれを踏まえ具体的な分類を示した日本電気協会「安全機能を有する電気・機械装置の重要度分類指針」(JEAG4612-2010)に基づき識別した色塗系統図等により抽出される機器・構造物を対象とし、該当する構造物、または該当する機器を支持する構造物を選定した。 評価対象の抽出フローを添付1に示す。</p> <p>※1：発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針(平成2年8月30日原子力安全委員会決定)</p> <p>2. 代表構造物の選定 対象構造物の使用条件(高温部の有無、放射線の有無など)の影響の大きさに基づき、代表構造物を選定した。</p> <p>添付1 評価対象の抽出フロー</p>

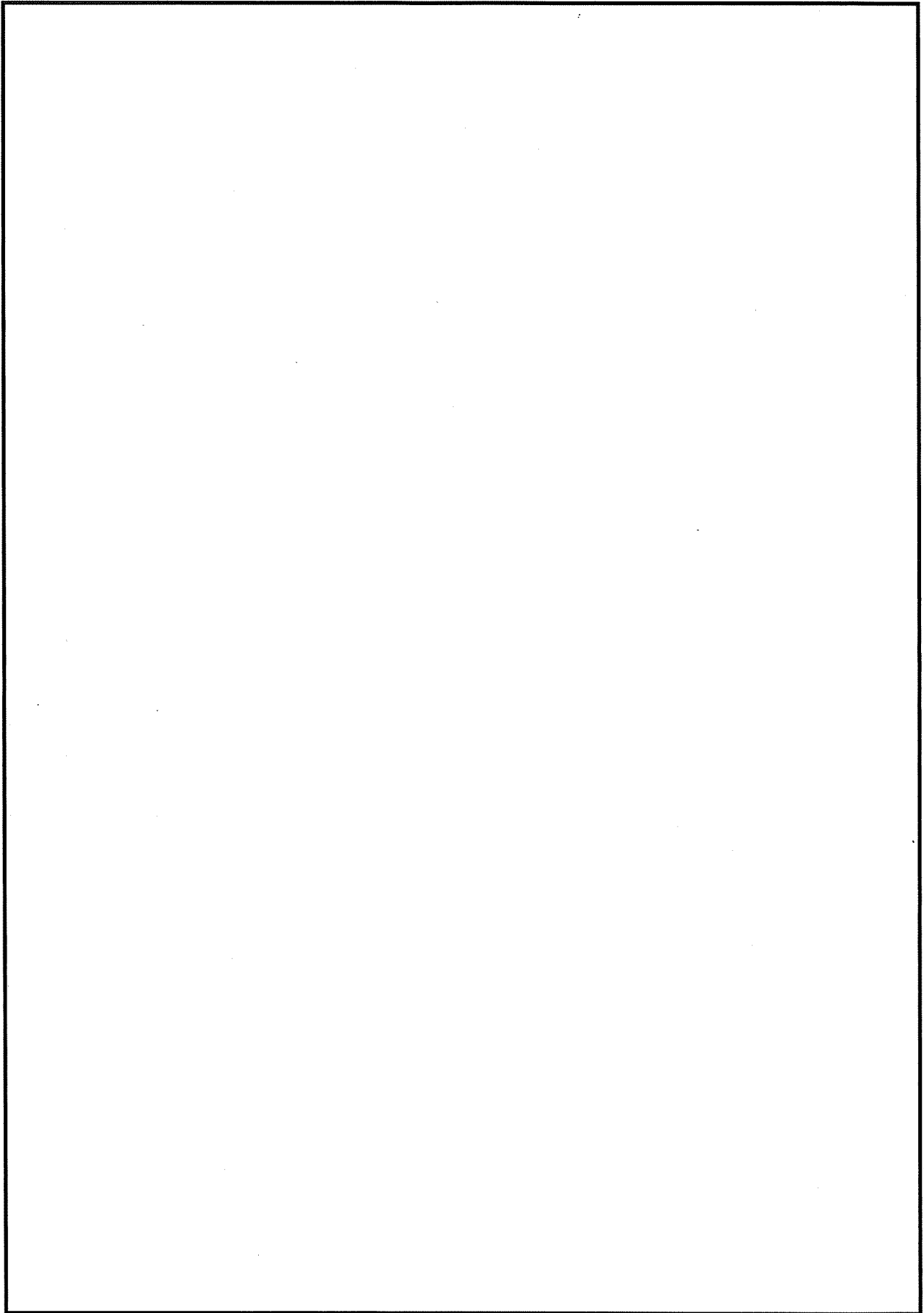
## 評価対象の抽出フロー

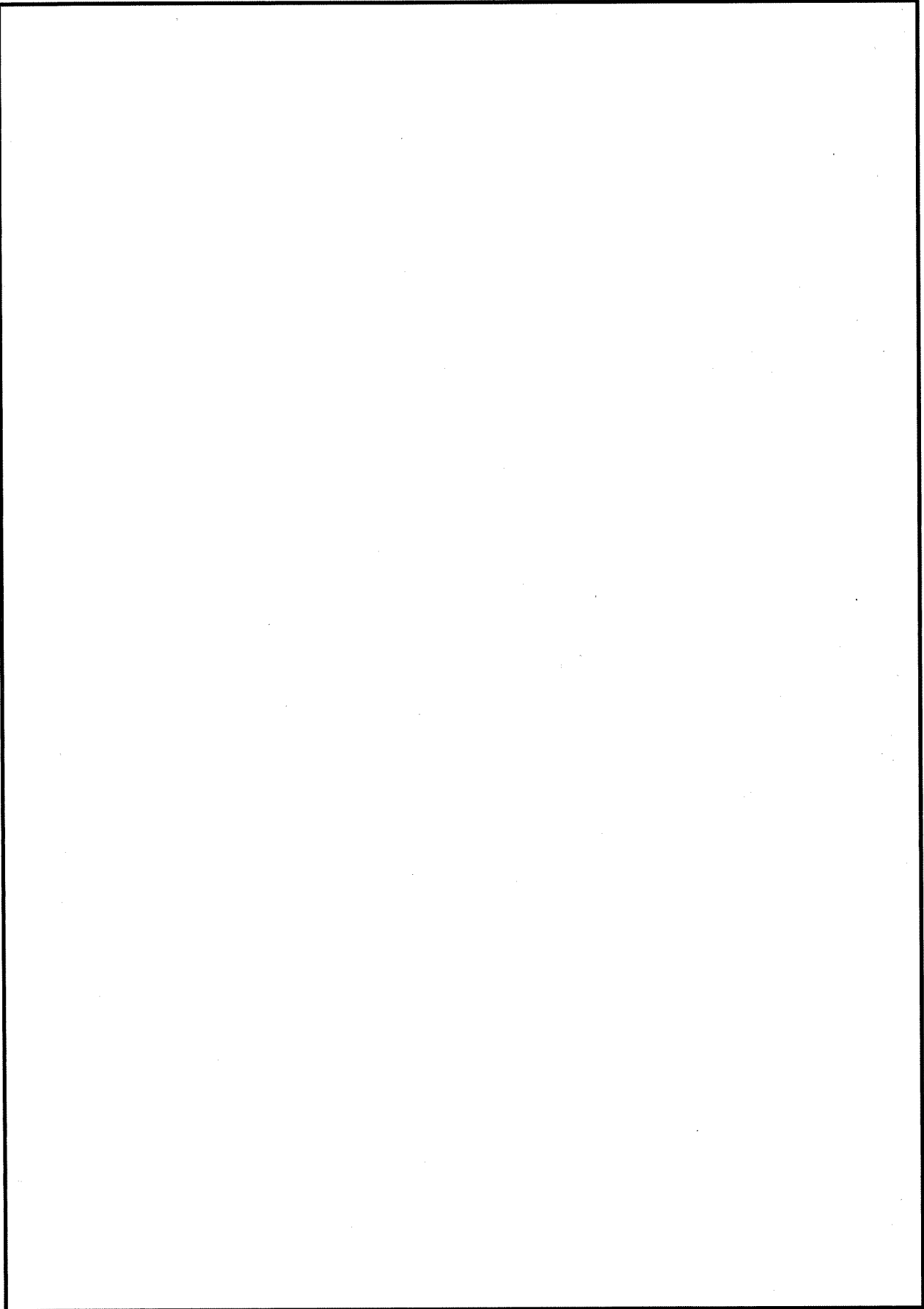


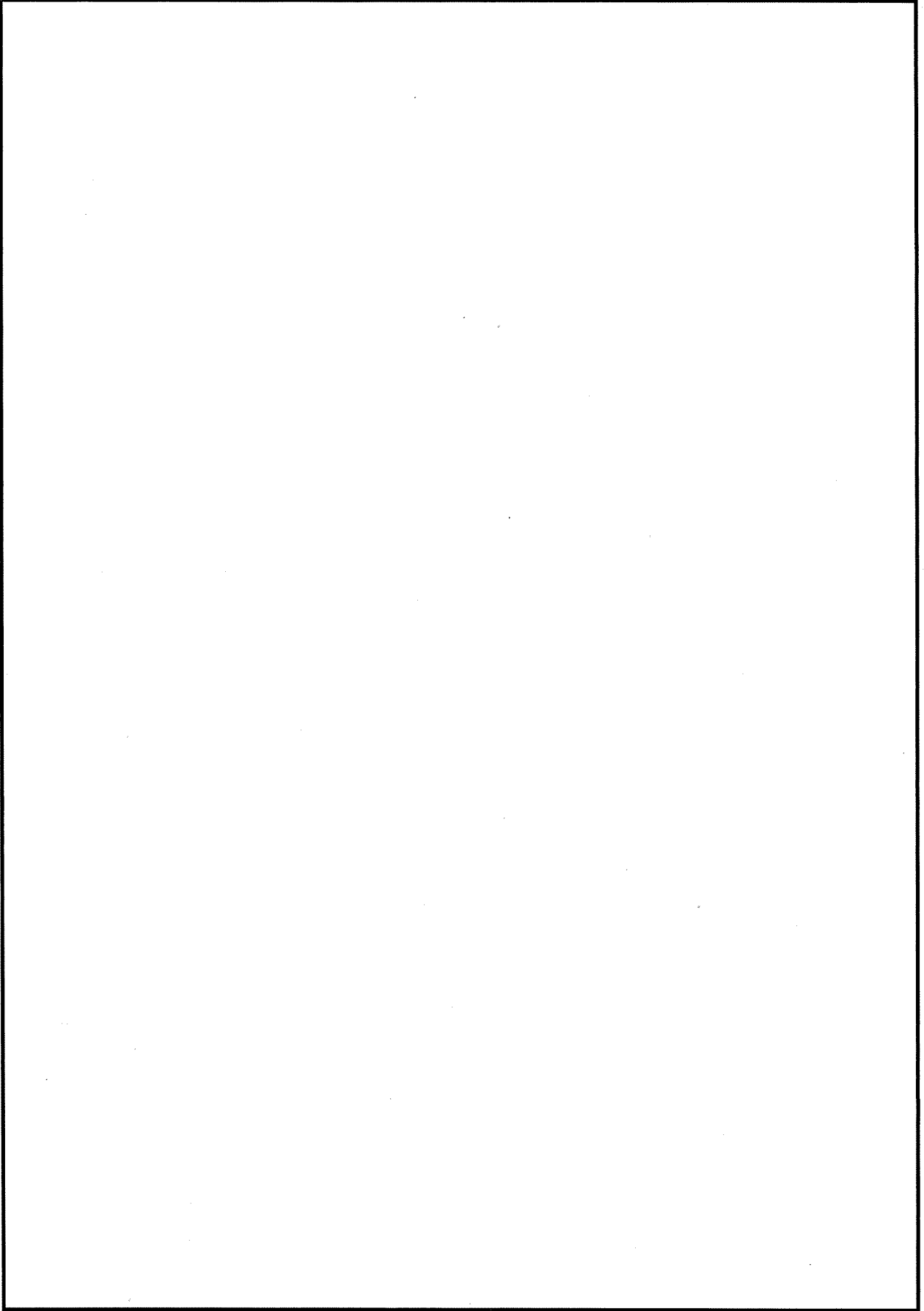
- \*1 重要度分類クラス1および2<sup>(\*)</sup> (耐津波安全性評価が必要な浸水防護施設に属する機器および構造物を含む。)
- \*2 重要度分類クラス3のうち、最高使用温度が95℃を超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある機器 (原子炉格納容器外にあるものに限る)
- \*3 「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」(平成2年8月30日原子力安全委員会決定の重要度分類)
- \*4 浸水防護施設に属する機器および構造物を含む。

タイトル	耐火能力の考え方および耐火能力が要求されている壁の位置について
説明	<p>コンクリート構造物の耐火能力は、コンクリートの断面厚により確保する設計としている。耐火能力が要求されている壁の位置については、「伊方発電所3号機工事計画認可申請書（原子力発第13122号 平成28年3月23日認可）」、「伊方発電所3号機工事計画認可申請書（原子力発第18295号 令和2年3月26日認可）」および「伊方発電所3号機工事計画認可申請書（原子力発第22157号 令和5年8月4日認可）」に示すとおりである（添付1参照）。</p> <p>添付1 火災区域などの位置図</p>

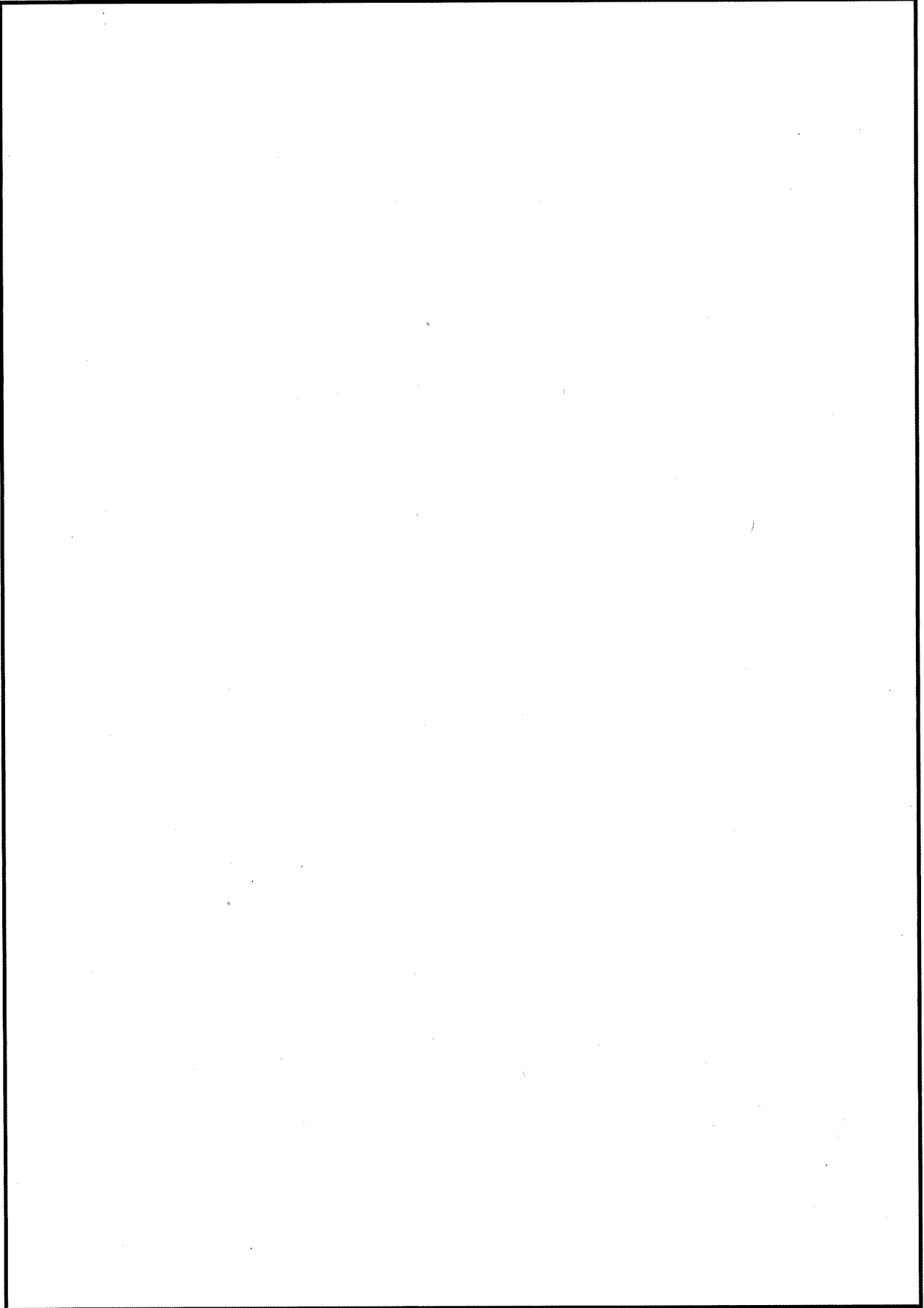


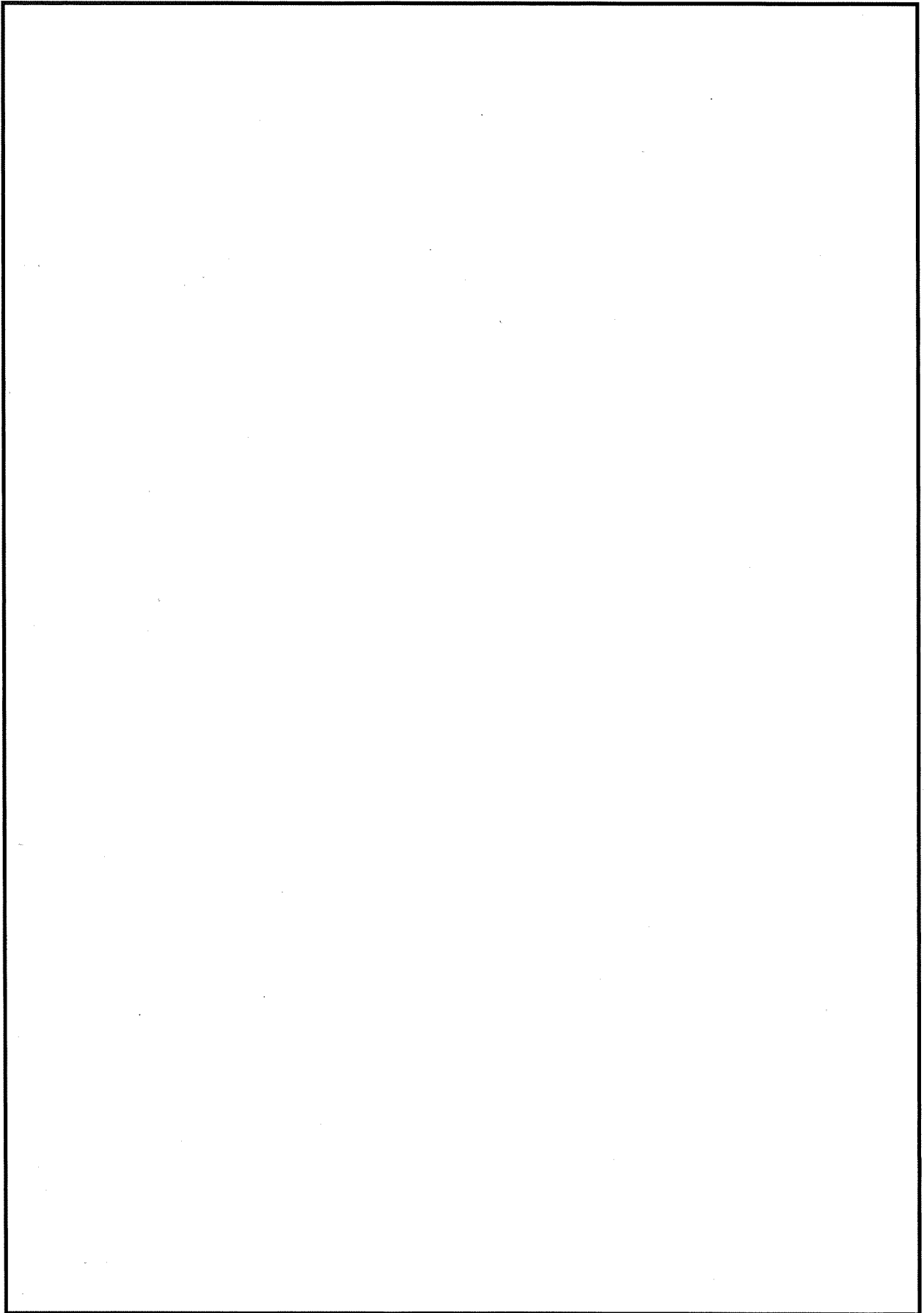


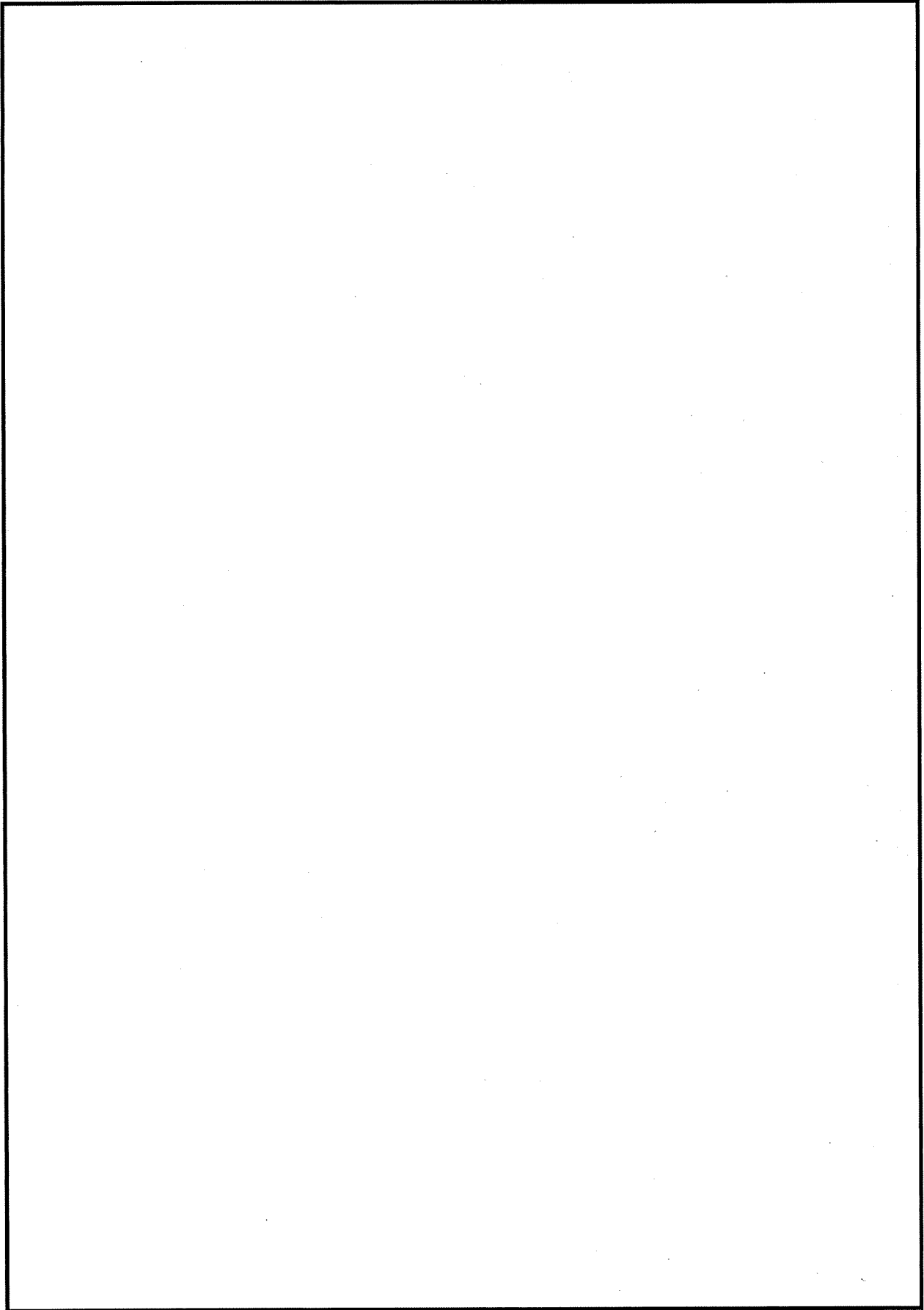


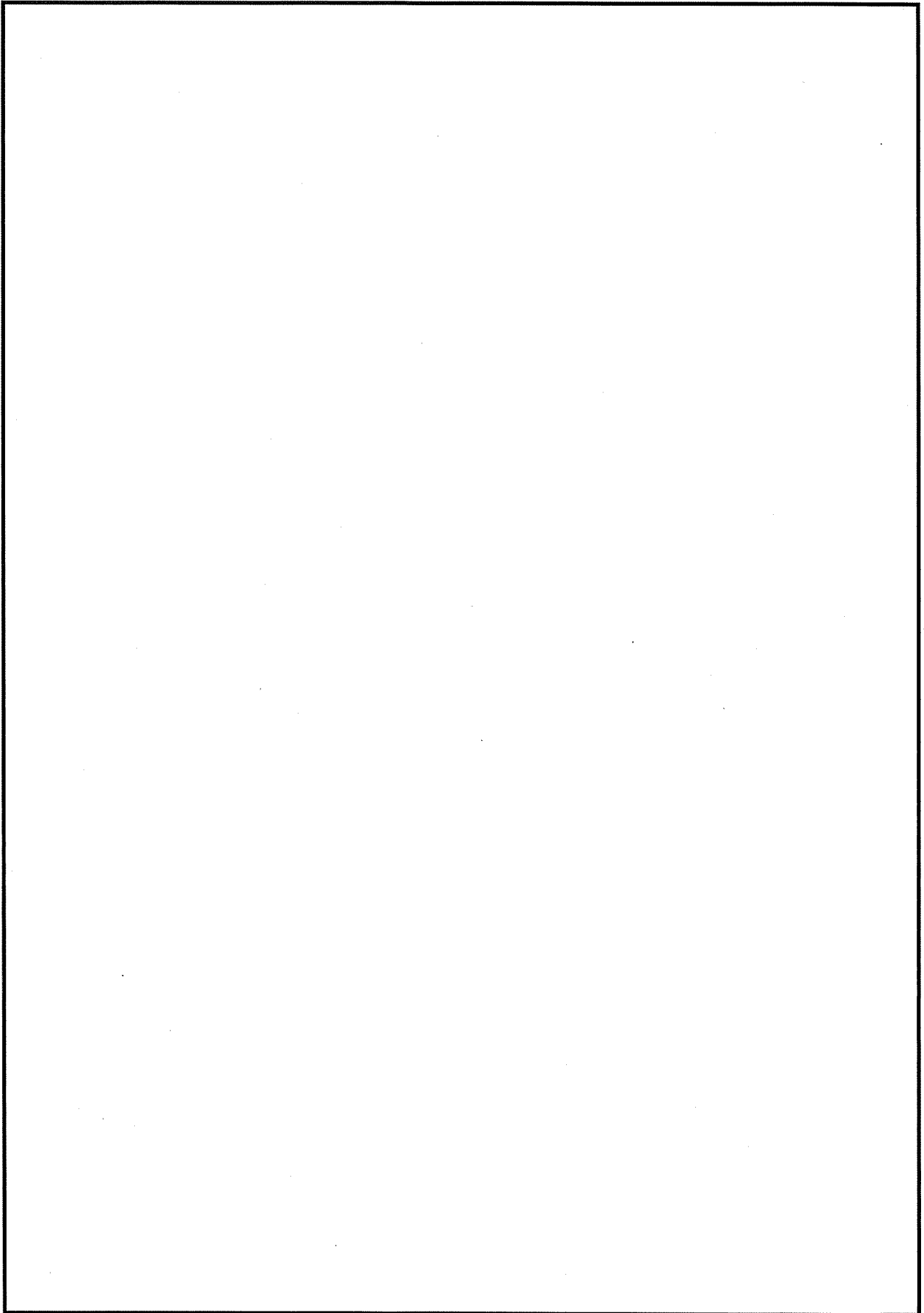


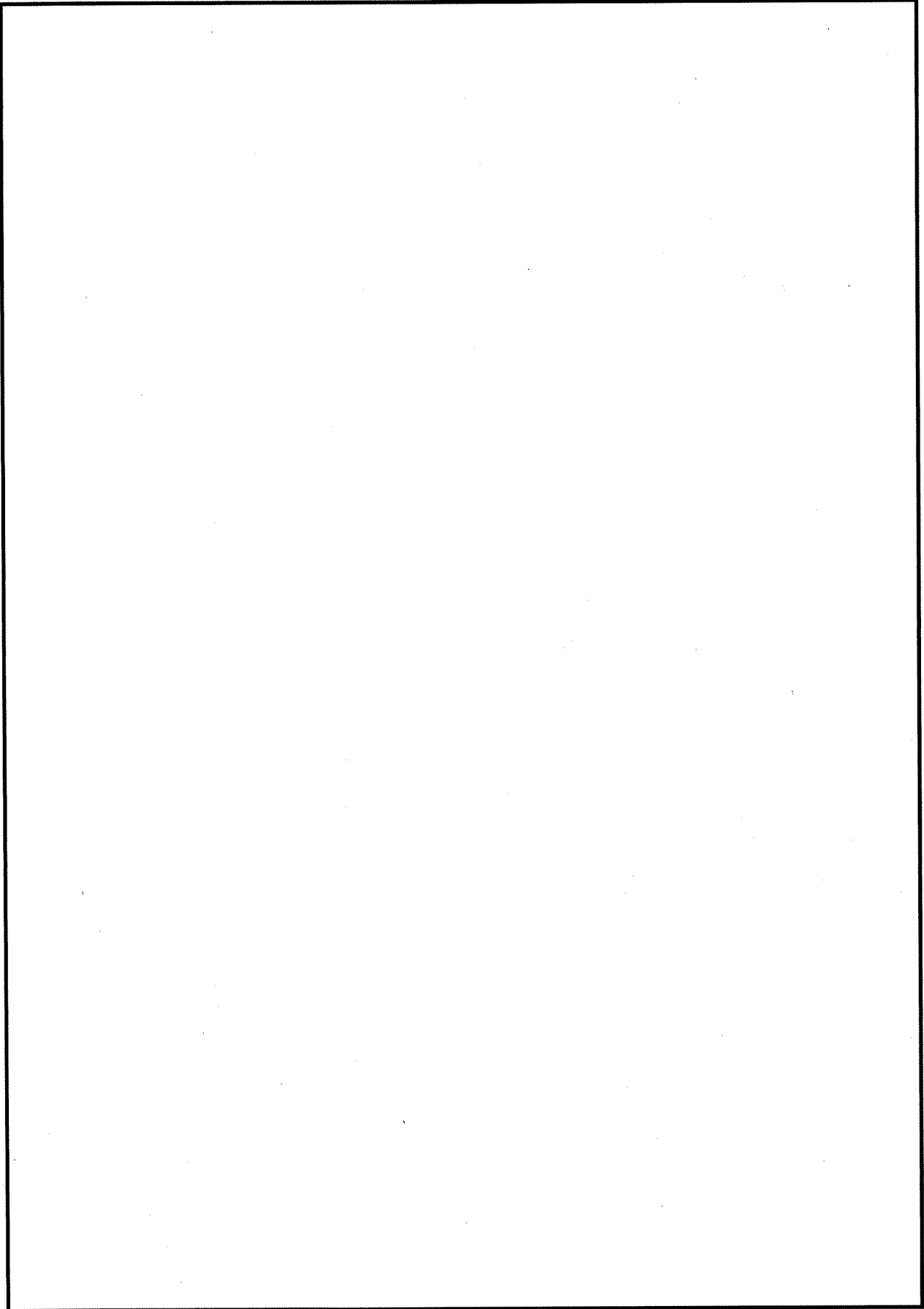


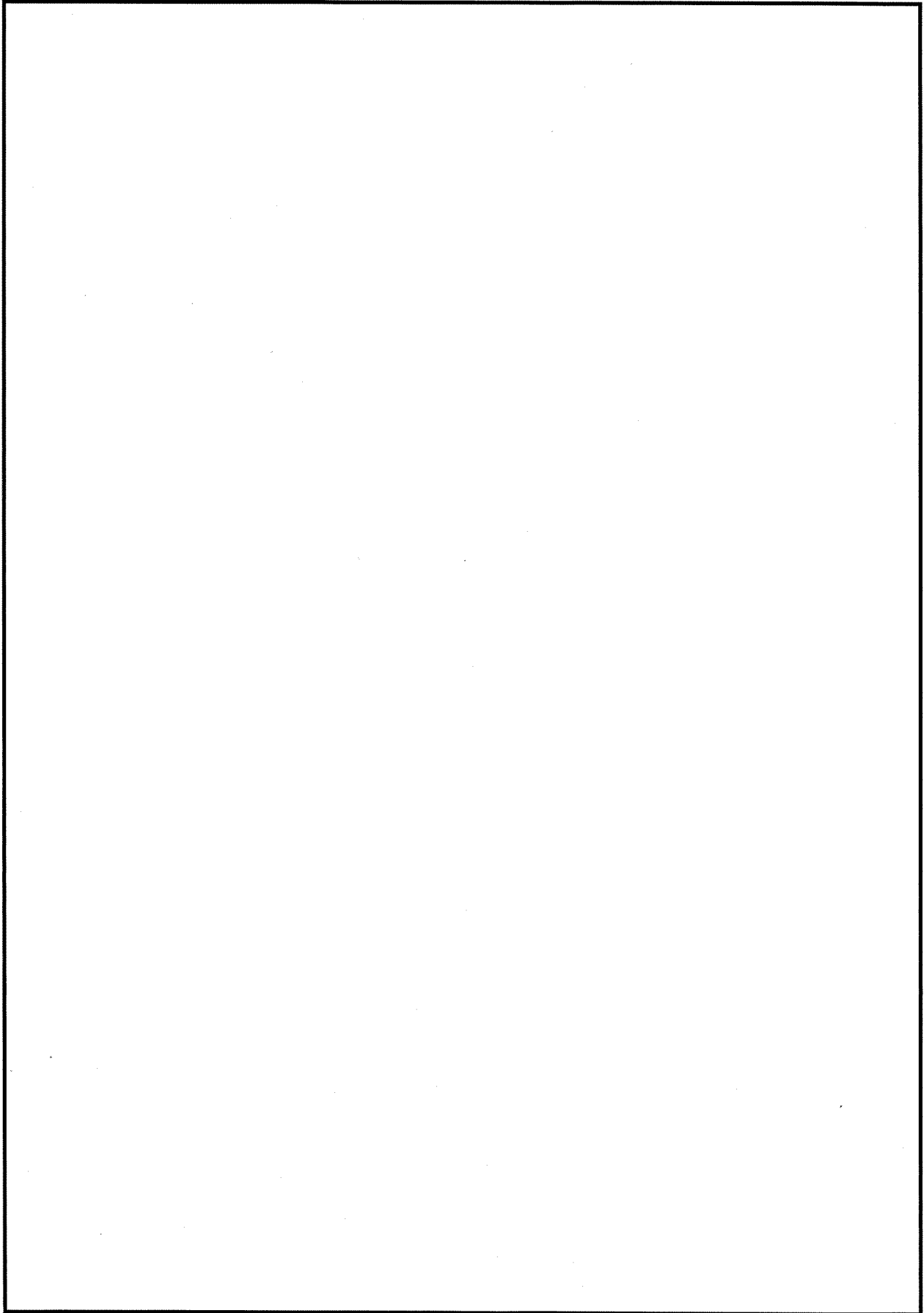


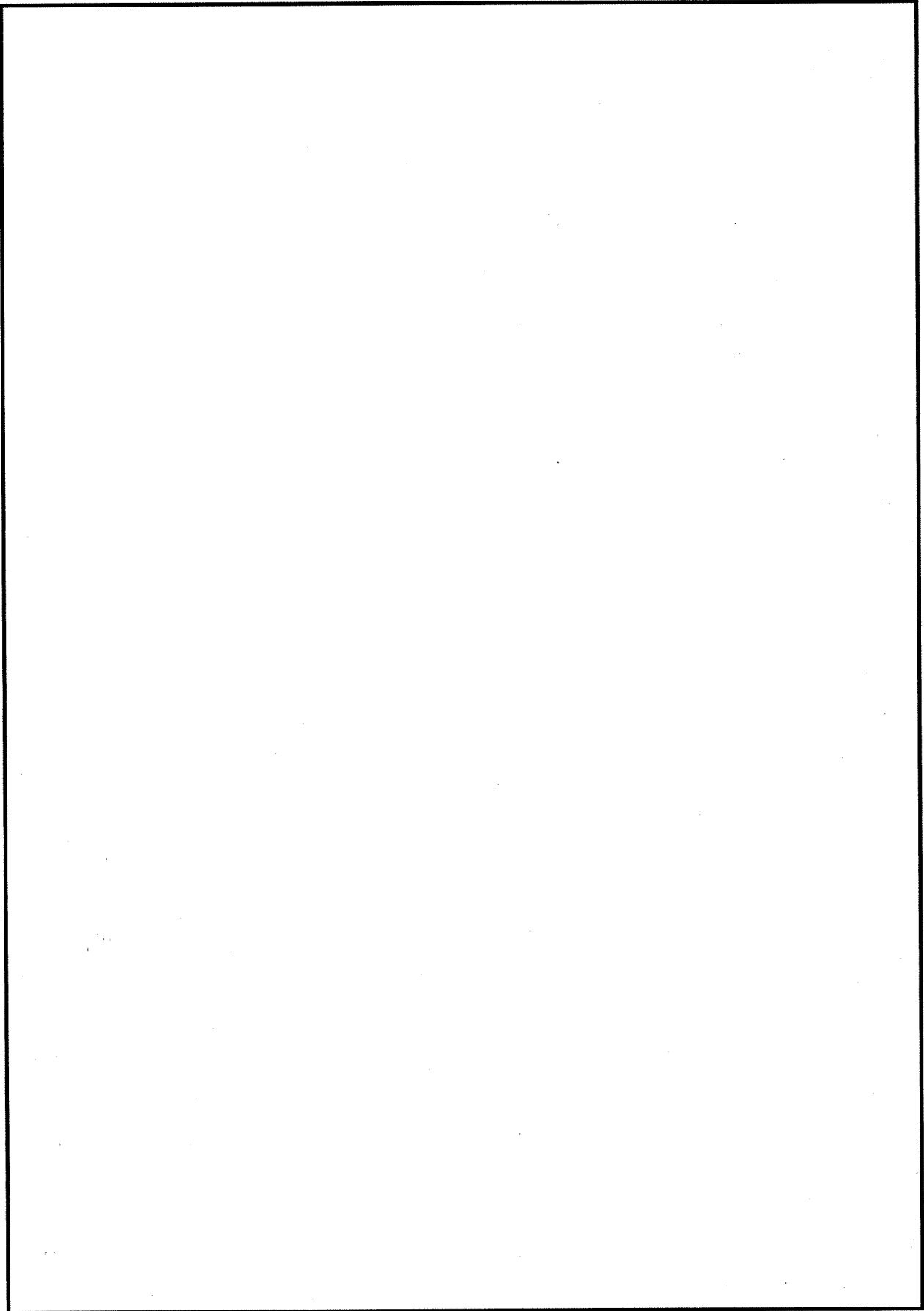


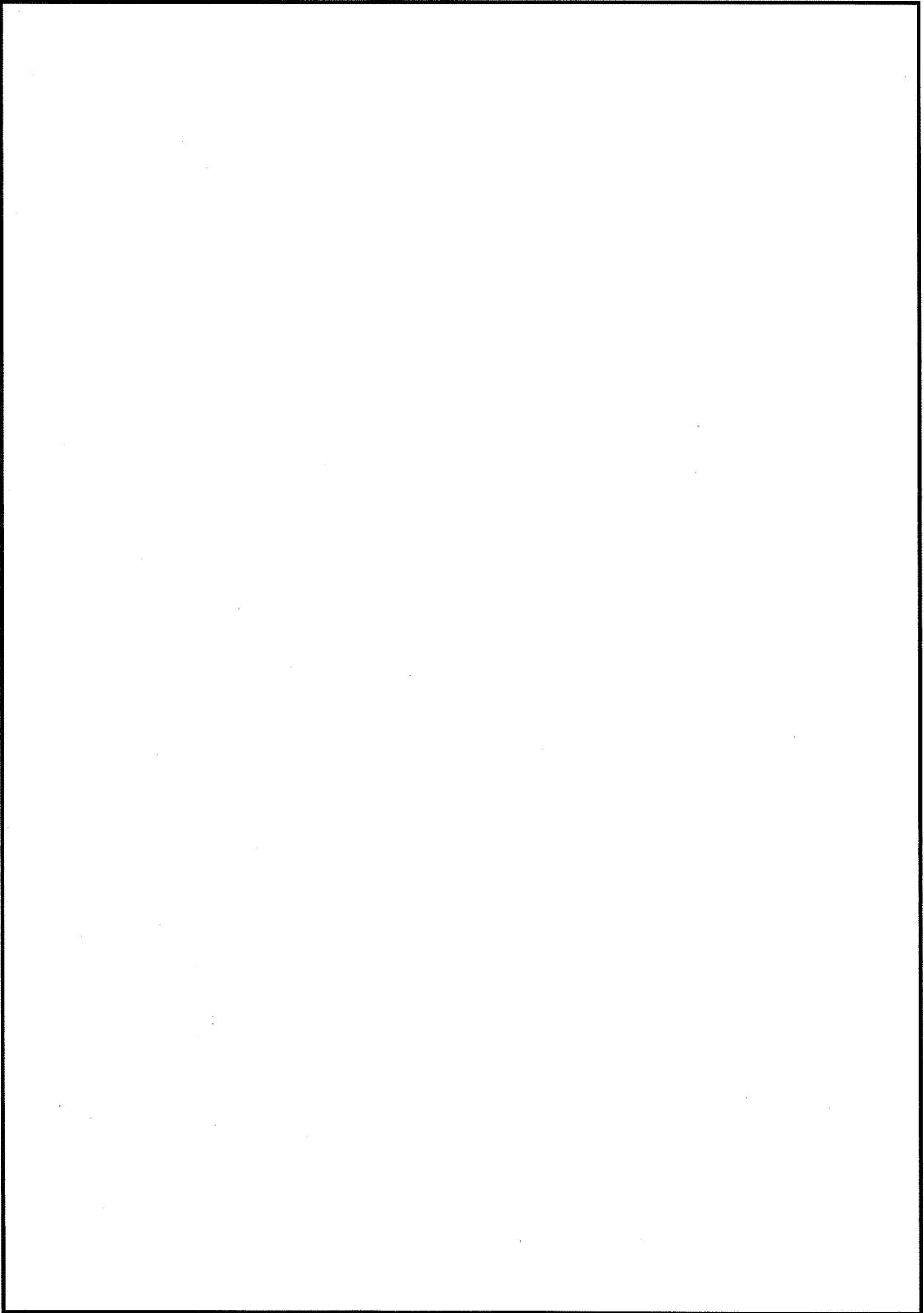




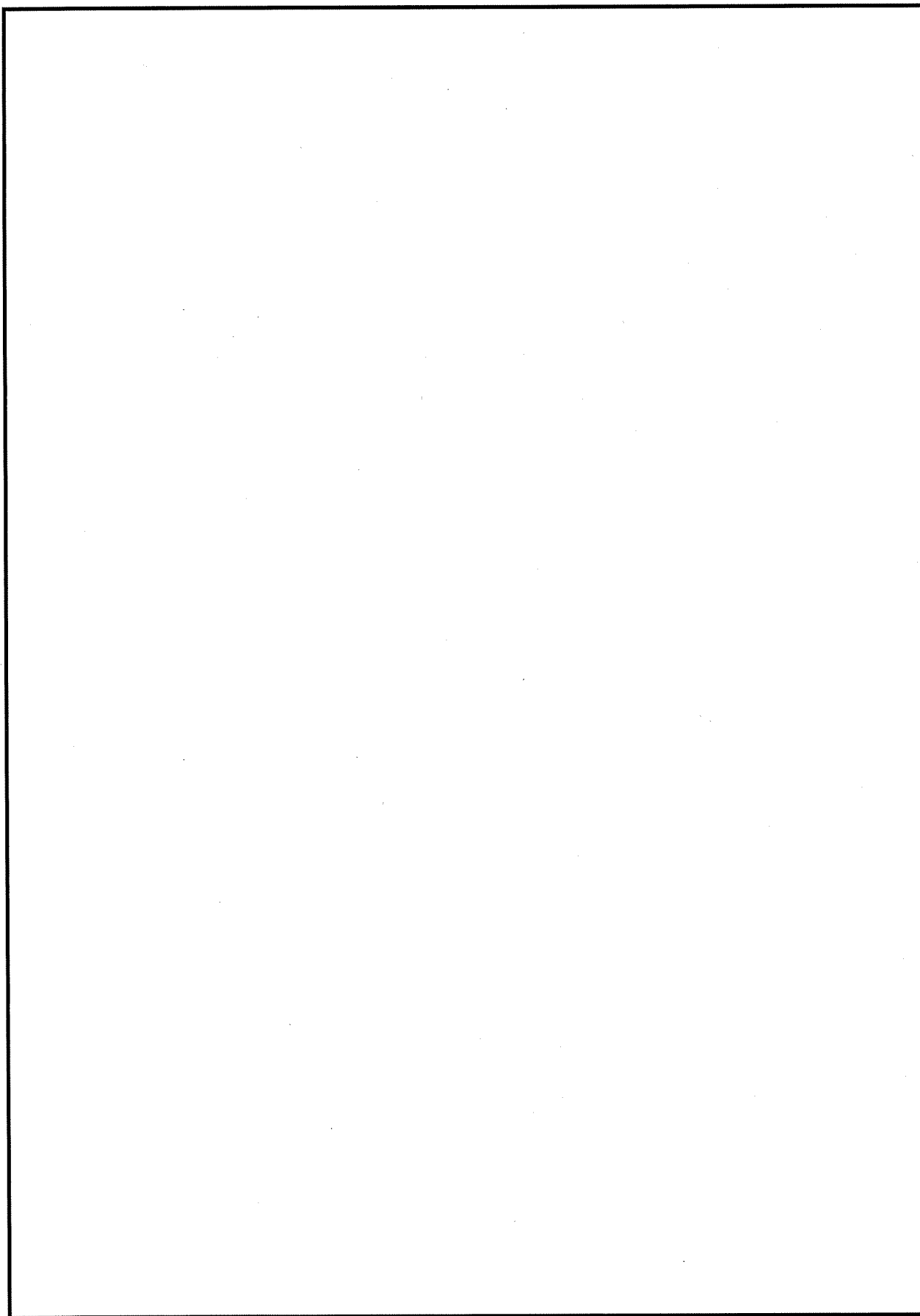


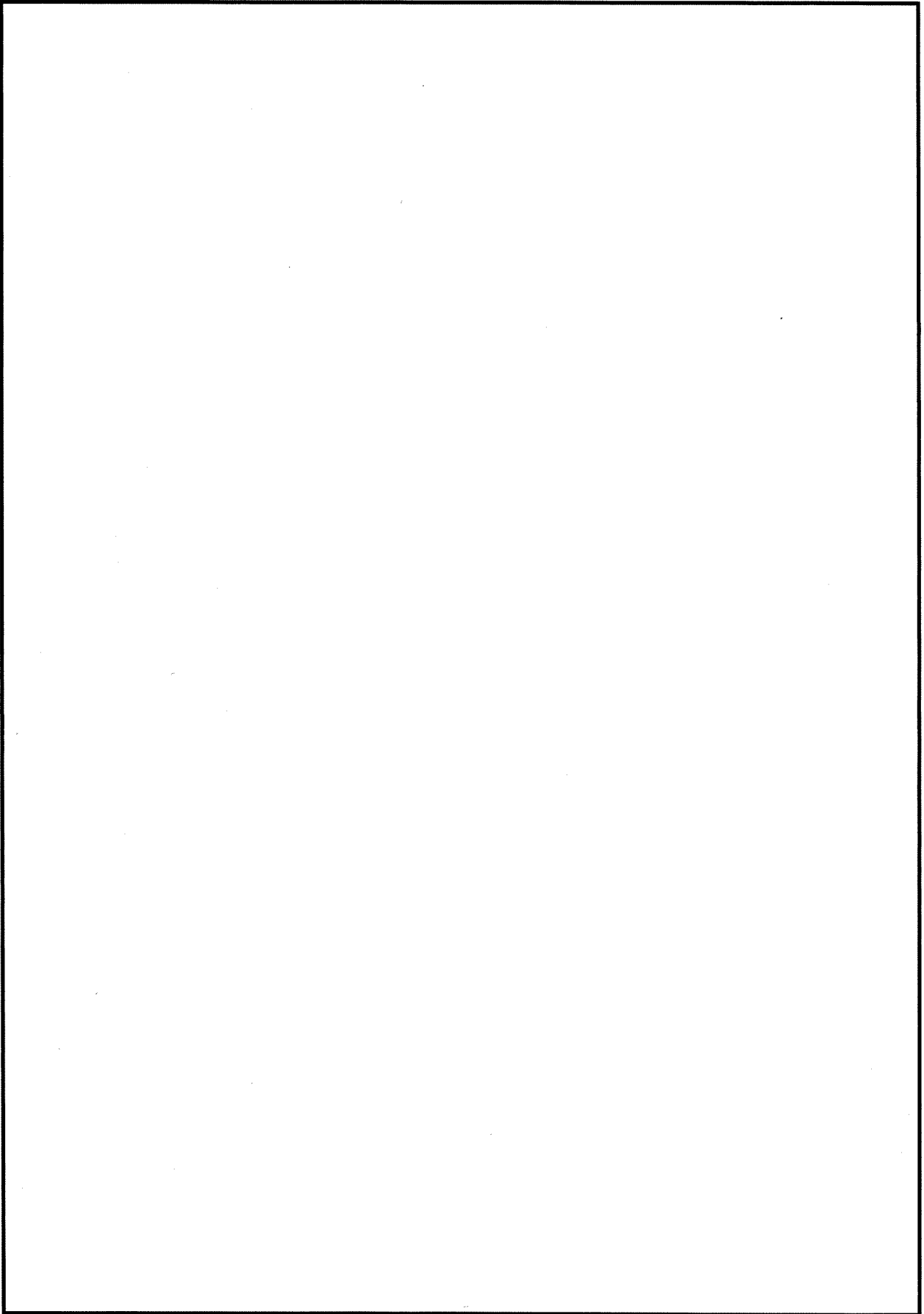


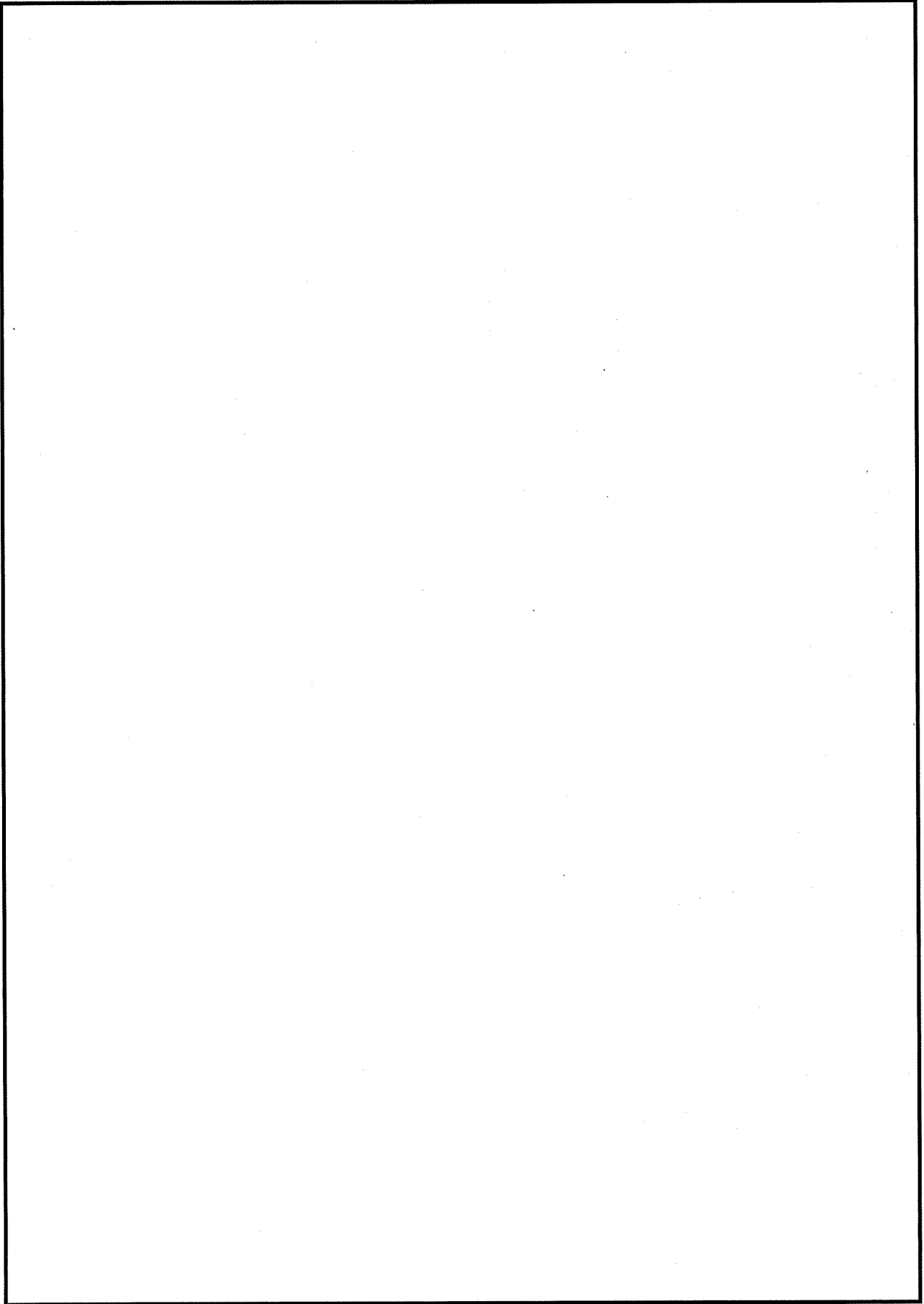


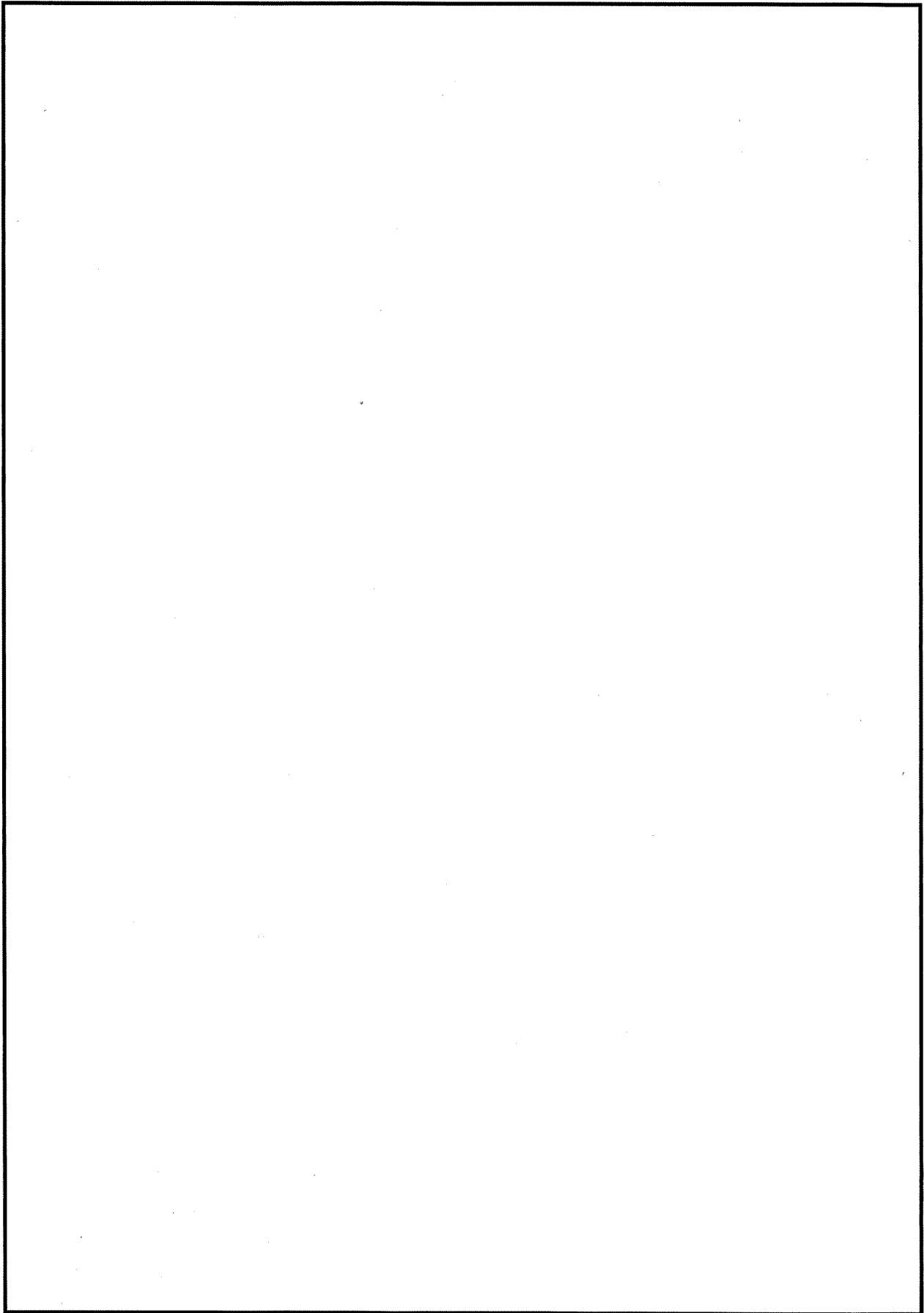


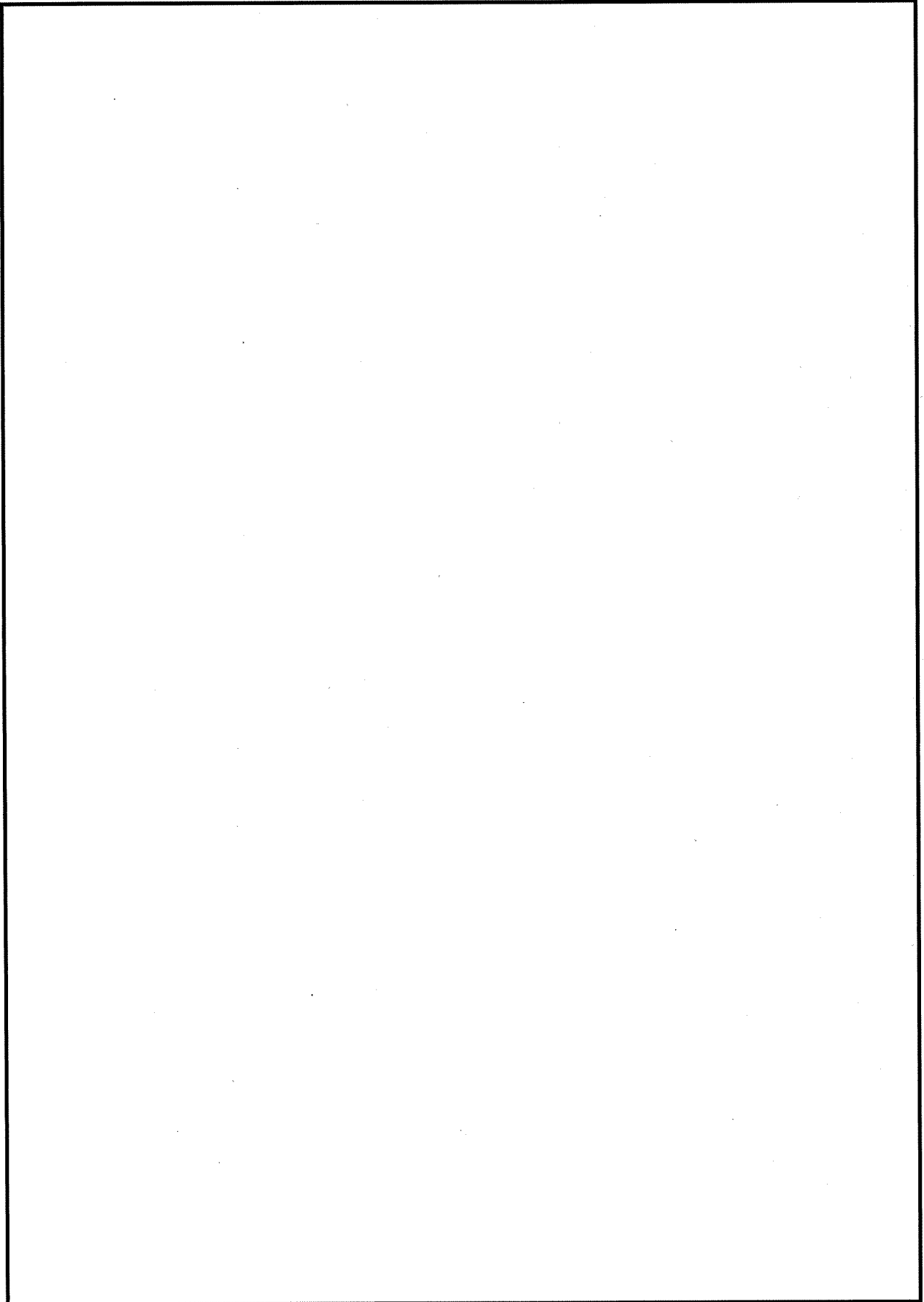


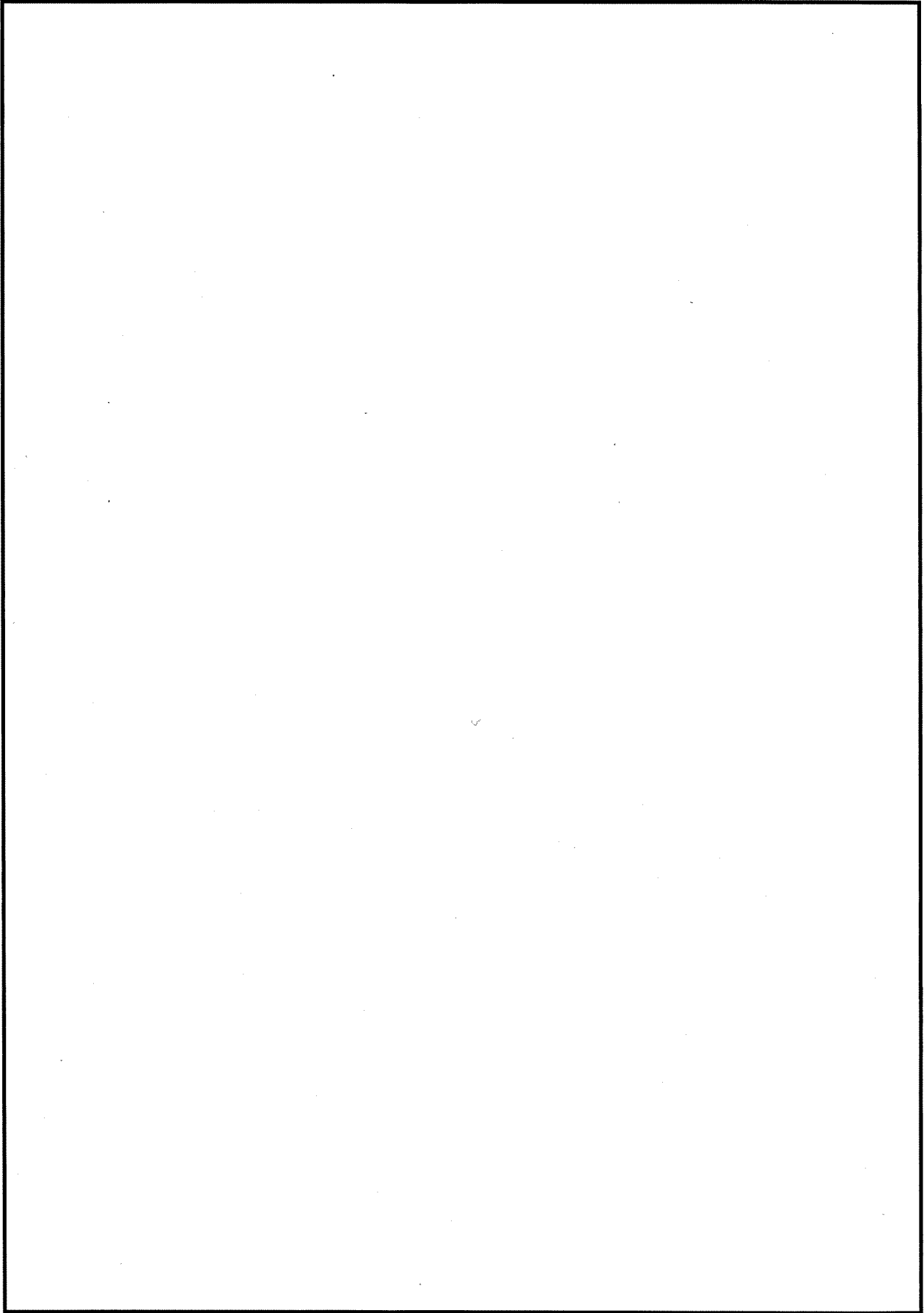


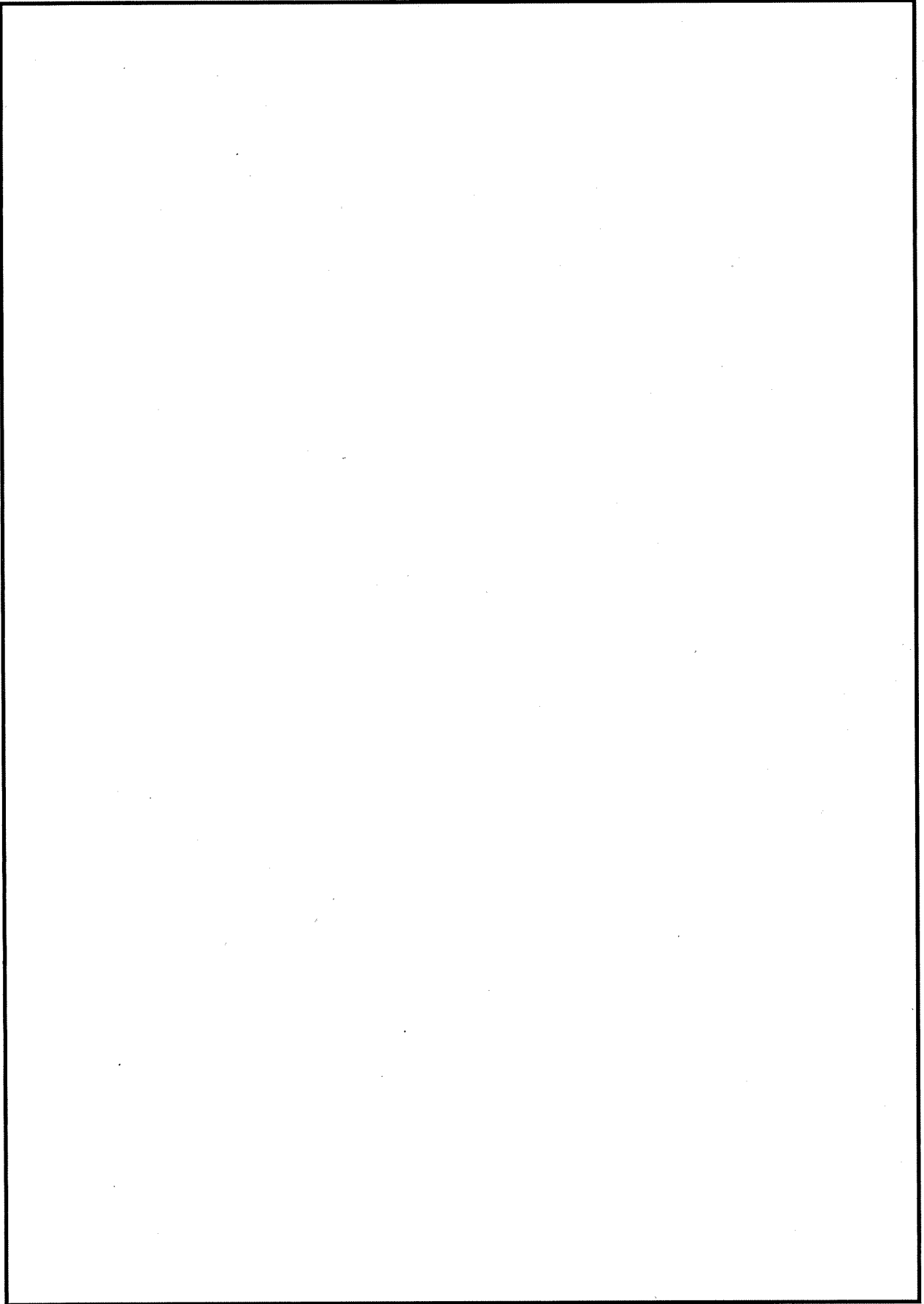


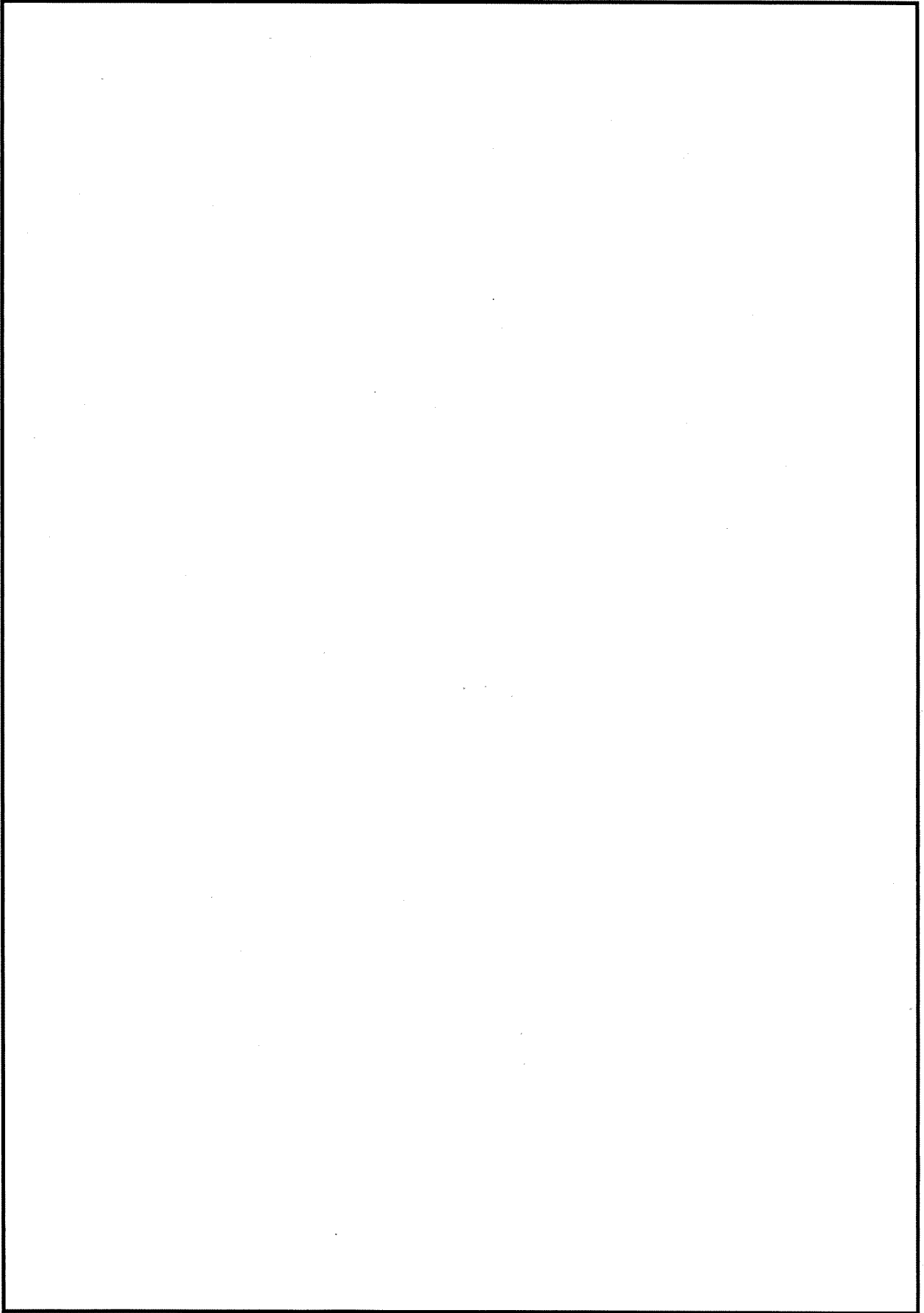




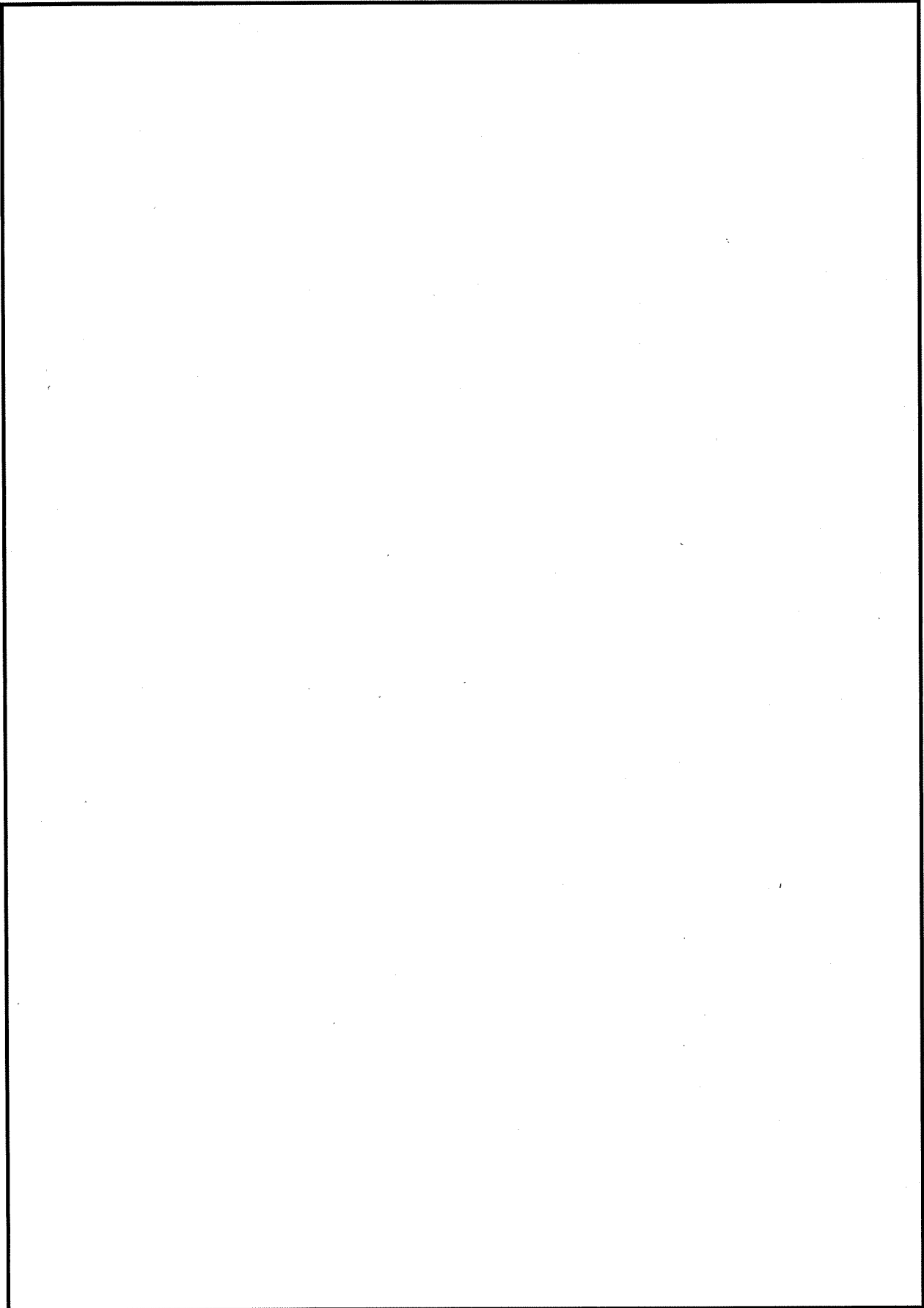


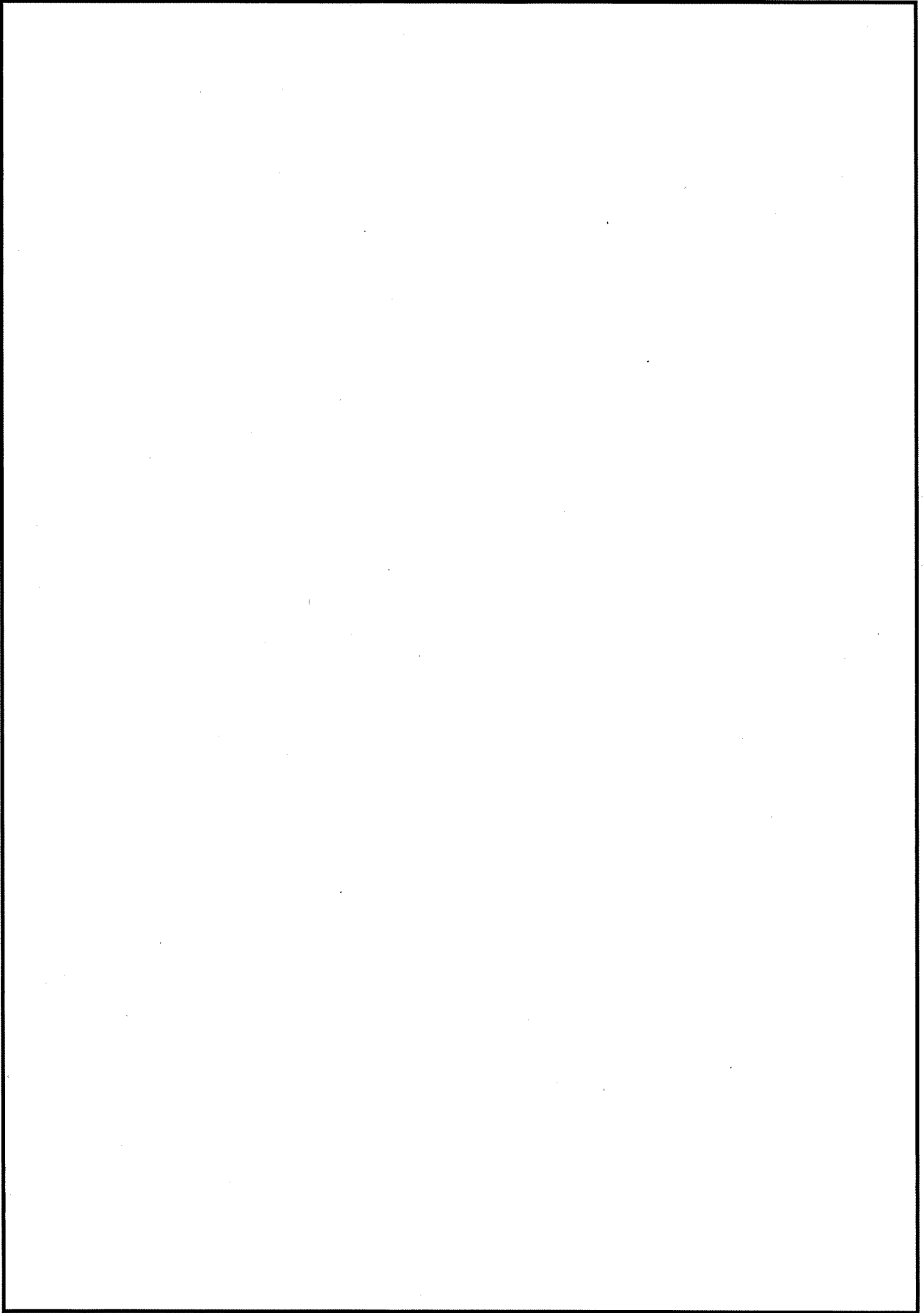


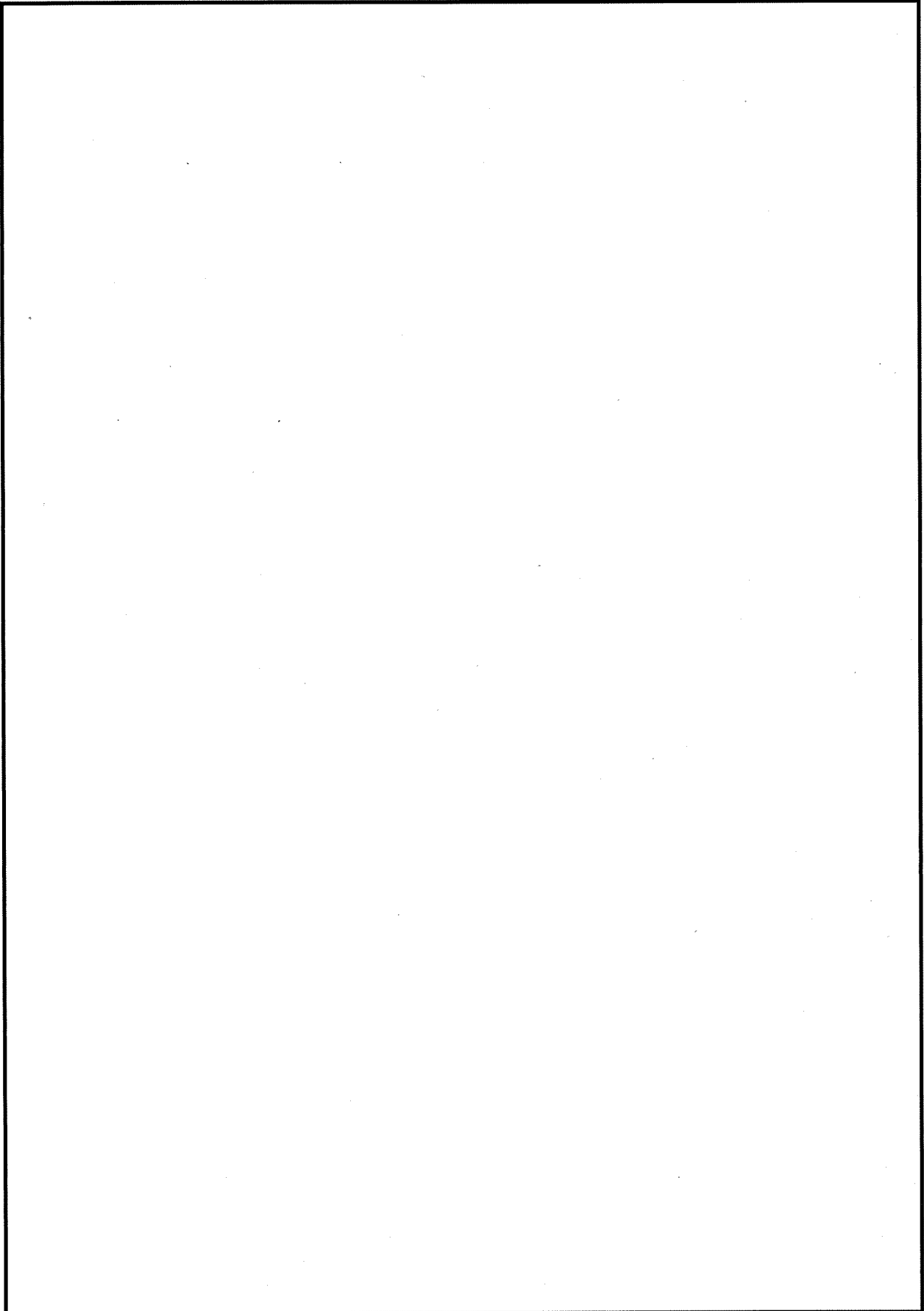


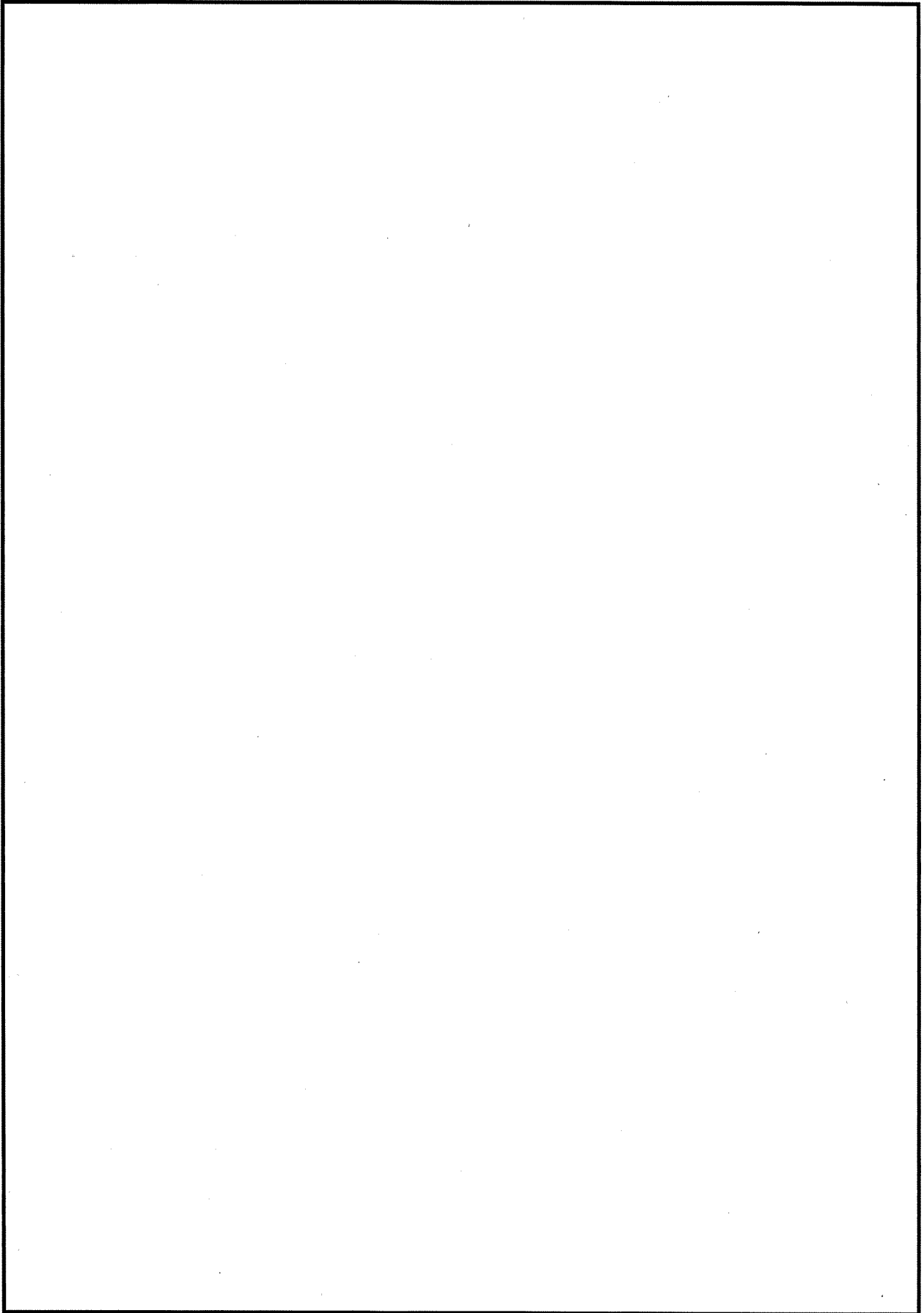


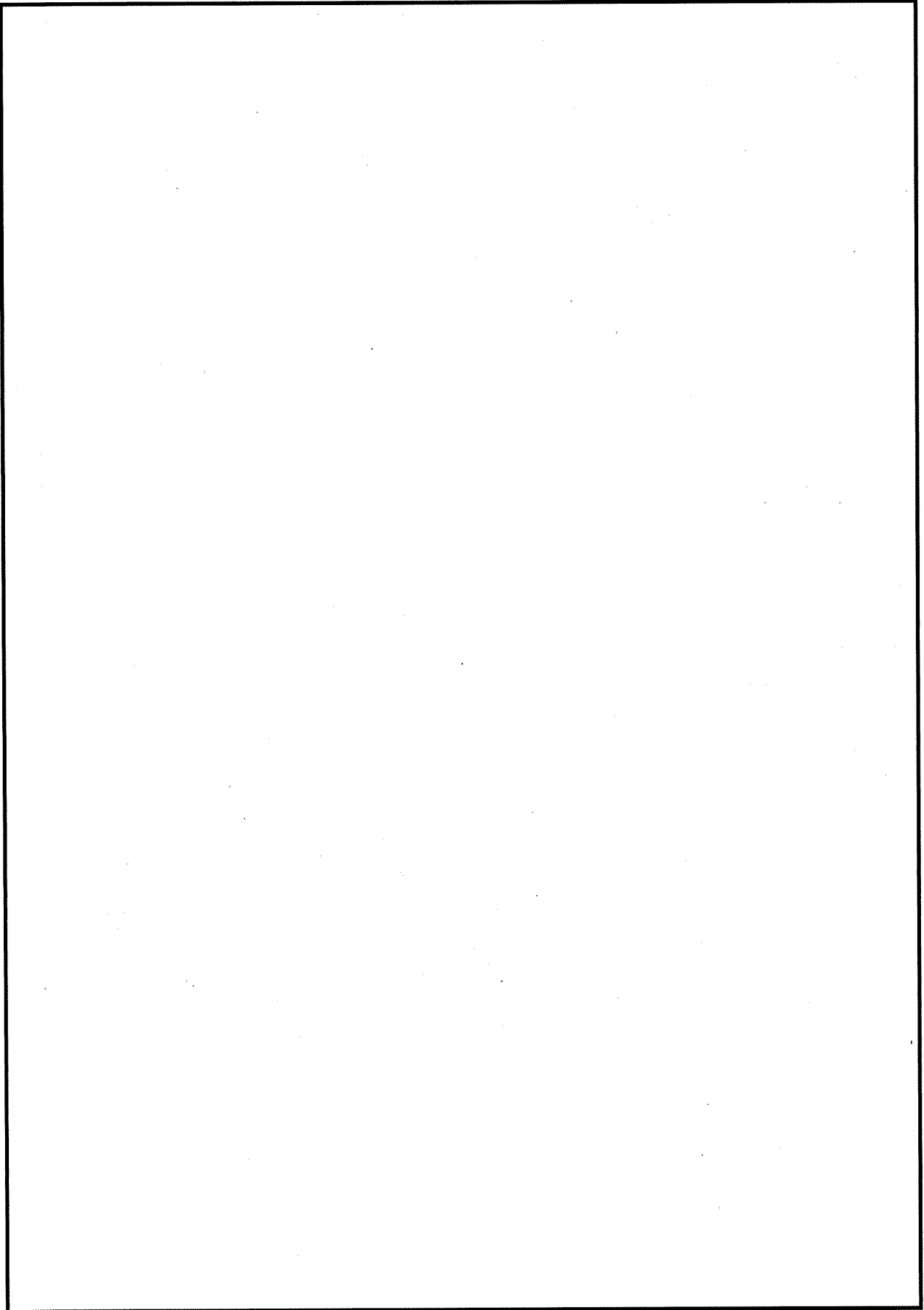


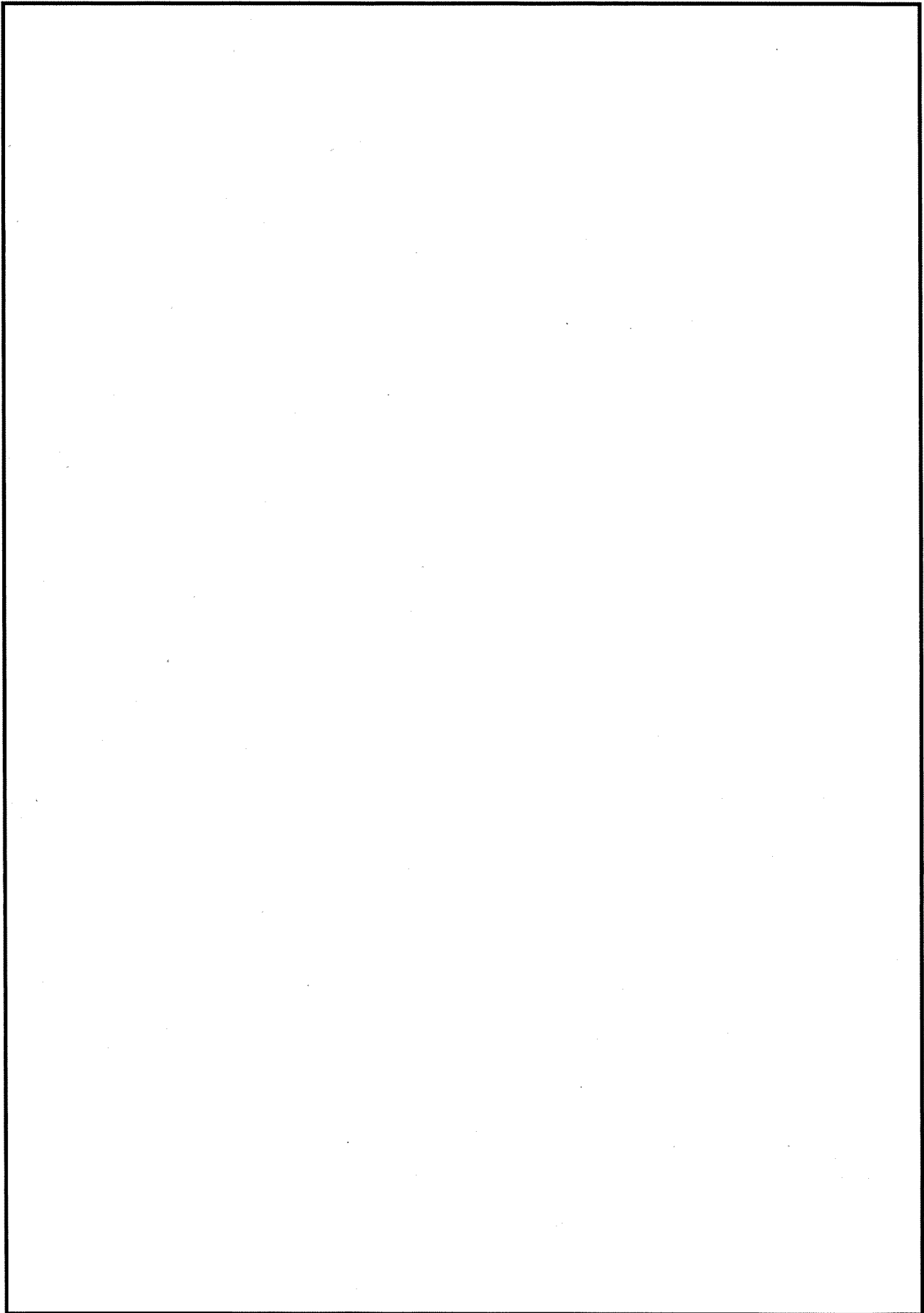


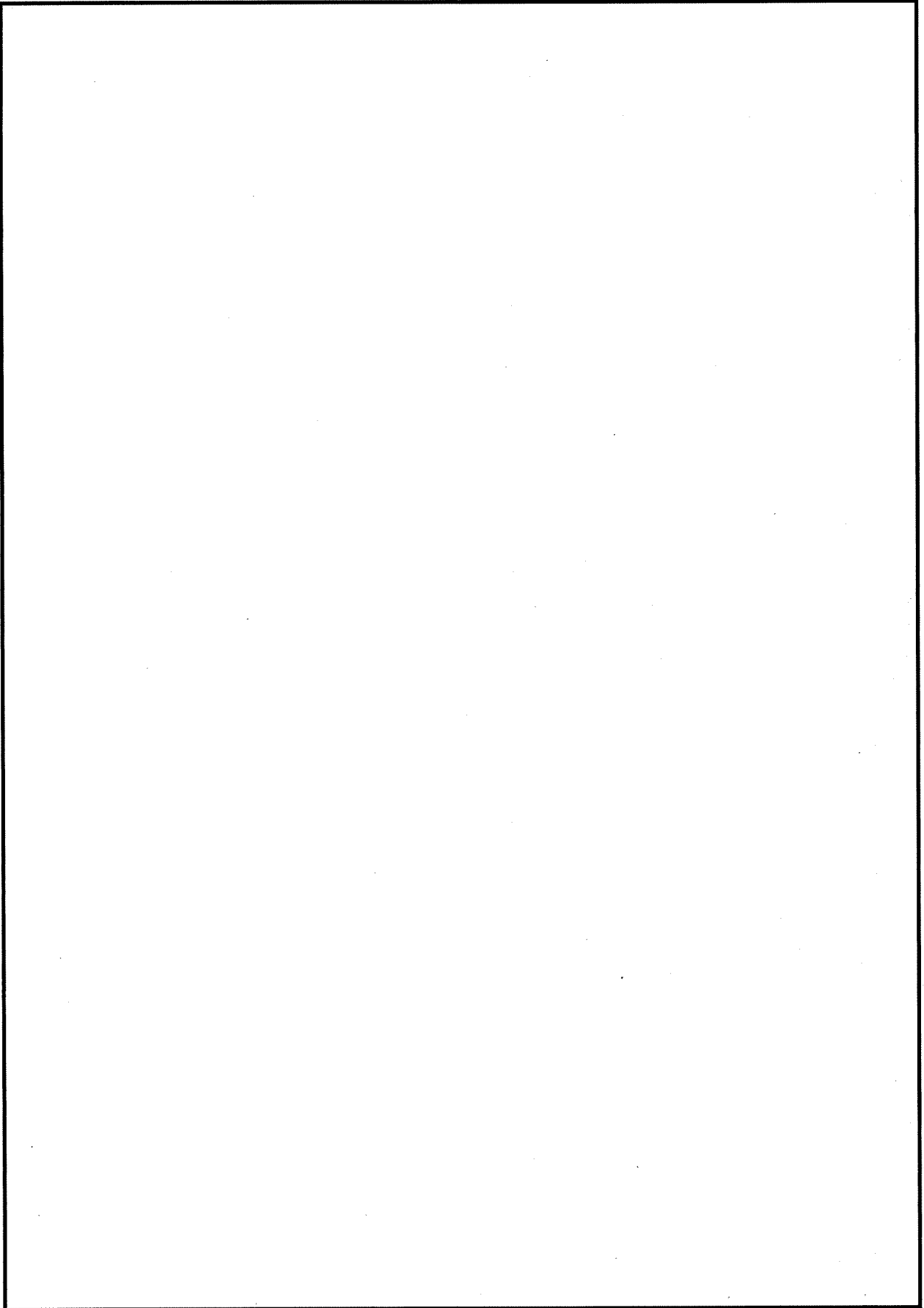


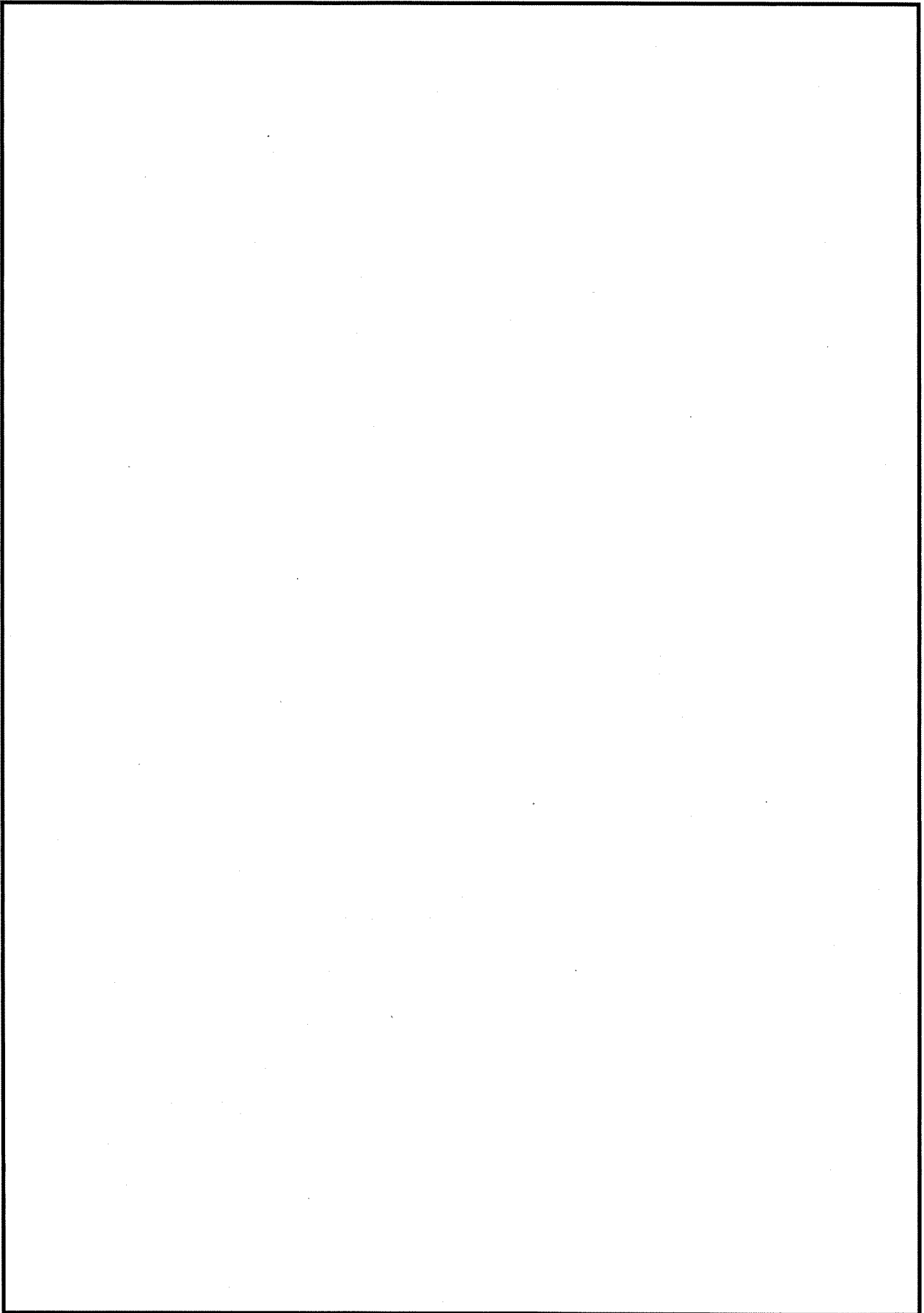




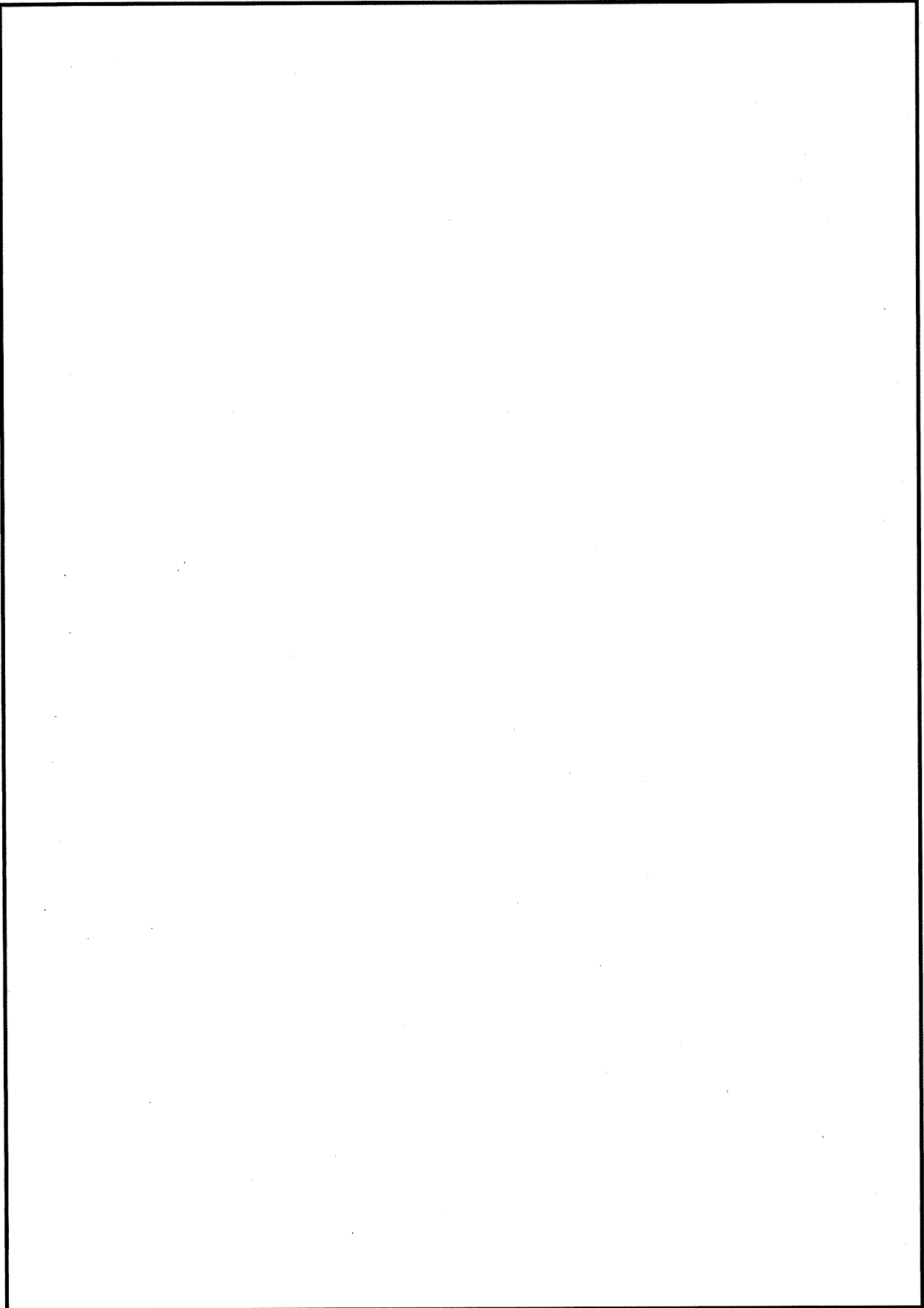












<p>タイトル</p>	<p>土木建築設備に係わる保全管理の文書体系について</p>
<p>説明</p>	<p>土木建築設備に係わる保全管理の文書体系は以下のとおりである。</p> <pre> graph TD     A["伊方発電所 原子炉施設保安規定"] --&gt; B["原子力発電所 品質保証規程"]     B --&gt; C["原子力発電所 品質保証基準"]     C --&gt; D["施設管理内規"]     D --&gt; E["細則—1 点検計画細則"]     E --&gt; F["伊方発電所 土木建築設備施設管理マニュアル"]     E --&gt; G["伊方発電所 ASR発生コンクリート構造物維持管理マニュアル"]     </pre>

<p>タイトル</p>	<p>炉心領域部および原子炉容器サポート直下部の1次遮蔽壁における温度分布解析の方法などについて</p>
<p>説明</p>	<p>炉心領域部および原子炉容器サポート（以下、「RVサポート」という。）直下部の1次遮蔽壁（コンクリート）における温度分布解析の方法などについて、以下に示す。</p> <p>1. 炉心領域部の温度分布解析</p> <p>1.1 温度分布解析の方法</p> <p>炉心領域部の1次遮蔽壁内におけるガンマ発熱による温度分布は、2次元輸送計算コード DORT (Ver. 3.2) を用いて算出したガンマ線束に、エネルギー吸収係数を乗じて1次遮蔽壁内のガンマ発熱量分布を算出した後、熱伝導方程式を解いて温度分布を求めている。</p> <p>(1) 解析モデル</p> <p>炉心、炉内構造物、原子炉容器および1次遮蔽壁（コンクリート）を2次元形状（水平断面）でモデル化している。具体的な解析モデルは添付1に示す。</p> <p>(2) 入力条件</p> <p>DORT コードは、米国のオークリッジ国立研究所で開発された中性子輸送方程式を数値的に解くコードであり、入力パラメータは、以下のとおりである。</p> <div data-bbox="443 1182 1342 1512" data-label="Diagram"> <pre> graph LR     A[①物性値(密度、組成)] --&gt; DORT[DORTコード]     B[②原子炉、1次遮蔽形状] --&gt; DORT     C[③原子炉出力分布※1] --&gt; DORT     D[④核分裂により発生する 中性子スペクトル※2] --&gt; DORT     DORT --&gt; E[ガンマ線束]     E --&gt; F[ガンマ発熱量 (kcal/(cm³・h))]     G[エネルギー吸収係数] --&gt; F     </pre> </div> <p>※1 これまでの運転サイクルにおける原子炉出力分布の平均値を用いて原子炉熱出力に相当する分のエネルギー（中性子発生個数）を入力</p> <p>※2 燃料の核分裂により発生する中性子発生個数とエネルギー（物性値）を入力</p> <p>1.2 解析結果</p> <p>1次遮蔽壁内のガンマ発熱量分布の計算結果を添付1に示す。添付1をもとに、円筒形状に対する熱伝導方程式を解いて温度分布を算出した結果、1次遮蔽壁内での最高温度は、1次遮蔽壁内面から約49cmの位置に現れ、約55.0℃であり、強度上の熱に対するコンクリートの温度制限値（一般部65℃、局部90℃）を下回る結果であった。1次遮蔽壁内の温度分布を添付2に示す。</p>

## 2. RVサポート直下部の温度分布解析

### 2.1 温度分布解析の方法

RVサポート廻りコンクリート部の温度分布解析は、対象範囲を3次元ソリッド要素でモデル化し、熱流動解析を実施している。熱流動解析では、冷却空気の流れから、熱伝達面に沿った流速分布、冷却空気温度を解析で求めることにより各部材温度を算出している。解析コードは ANSYS (Ver. 18.0) を使用している。

#### (1) 解析モデル

解析モデルの対象範囲は、温度条件の厳しいRV出口ノズル部廻りとし、以下の要素から構成している。具体的な対象範囲と解析モデルは添付3に示す。

- ・ RV
- ・ 1次冷却材管 (ホットレグ)
- ・ 保温材
- ・ RVサポート
- ・ 1次冷却材管貫通部
- ・ 1次遮蔽壁 (コンクリート)

#### (2) 入力条件

入力条件は定格出力運転時を前提として以下のとおりとしている。

- ・ 1次冷却材温度 (RV内面)  $T_c$ :  °C
- ・ 1次冷却材温度 (RV出口管台及び1次冷却材管内面)  $T_h$ :  °C
- ・ RV冷却ファン出口冷却空気流量:  m<sup>3</sup>/min
- ・ RV冷却ファン出口冷却空気温度:  °C
- ・ ガンマ発熱: 添付1 図2のガンマ発熱量分布
- ・ 材料物性値 (熱伝導率): 文献、使用材料に基づき設定 (添付4)

### 2.2 解析結果

RVサポート直下は伝熱により温度が上昇する。しかし、温度分布解析の結果は、約52.5°Cであり強度上の熱に対するコンクリートの温度制限値 (一般部65°C、局部90°C) を下回る結果であった (添付5)。また、RVサポートの外側コンクリートにおいて、1次冷却材管保温材からの輻射による影響から53.4°Cを示す箇所があるが、RVサポートからの荷重を直接支持する部位ではない。

なお、コンクリート内部におけるRVサポート直下部近傍の実測温度は約34~41°Cであり、実測温度の測定箇所における解析結果 (約52.5°C) よりも十分に低い値であることから、保守的な評価が行われていると判断している (添付6)。

	<p>添付1 炉心領域部の1次遮蔽壁（コンクリート）におけるガンマ発熱量分布の計算モデルおよび計算結果</p> <p>添付2 炉心領域部の1次遮蔽壁（コンクリート）内の温度分布</p> <p>添付3 RVサポート直下部の解析対象範囲および解析モデル</p> <p>添付4 材料物性値（熱伝導率）</p> <p>添付5 RVサポート直下部の1次遮蔽壁（コンクリート）の温度分布</p> <p>添付6 RVサポート直下部近傍の解析値と実測温度の比較</p>
--	--

炉心領域部の1次遮蔽壁（コンクリート）における  
ガンマ発熱量分布の計算モデルおよび計算結果

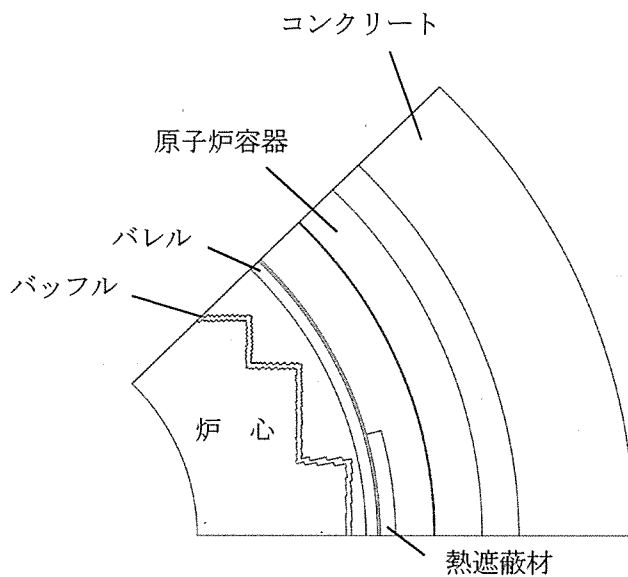


図1 計算モデル

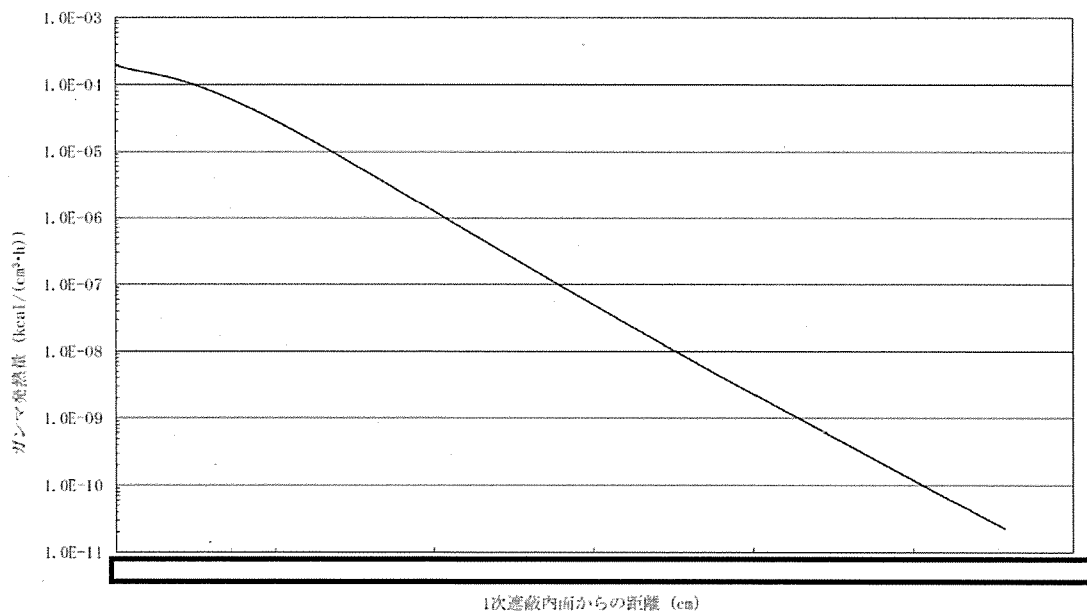


図2 1次遮蔽壁（コンクリート）内のガンマ発熱量分布

炉心領域部の1次遮蔽壁（コンクリート）内の温度分布

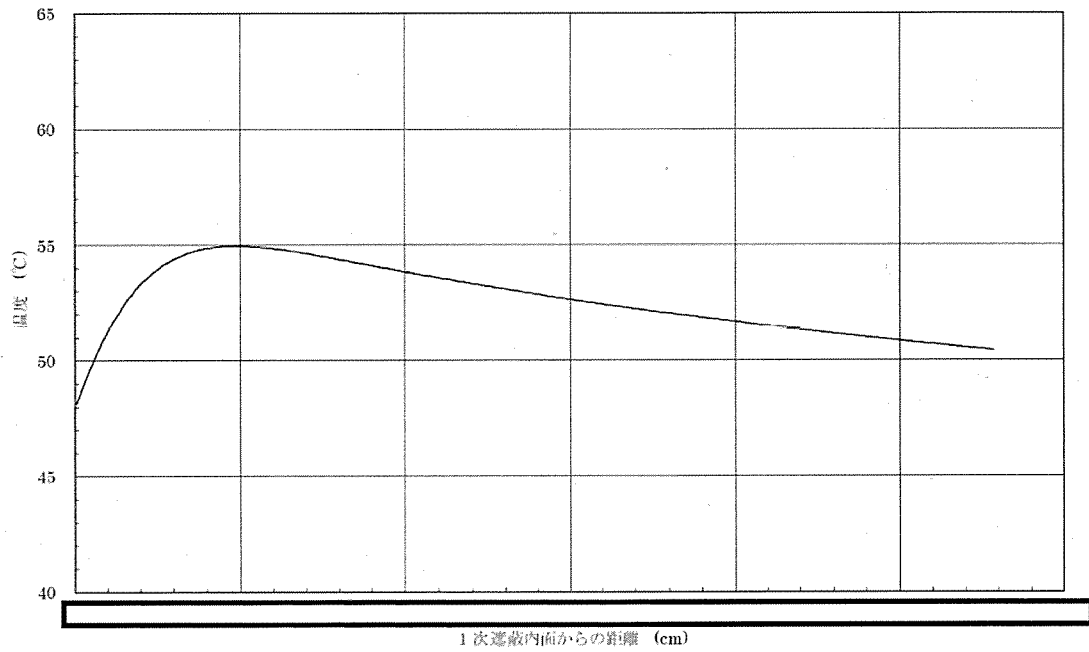


図3 1次遮蔽壁（コンクリート）内の温度分布

RVサポート直下部の解析対象範囲および解析モデル

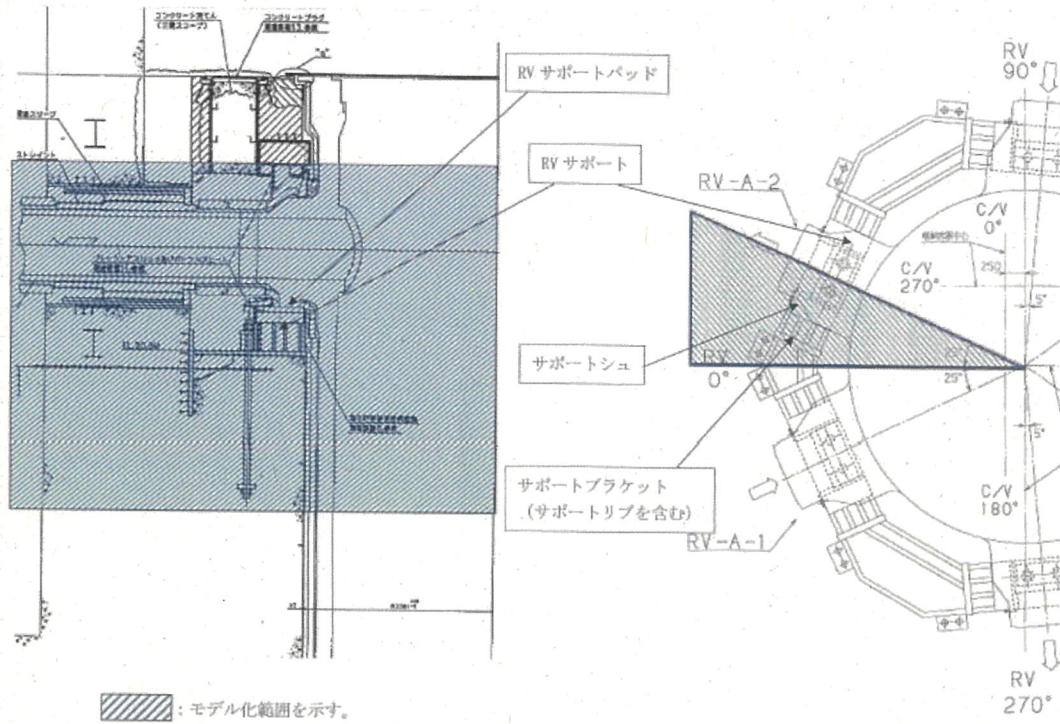


図4 解析対象範囲



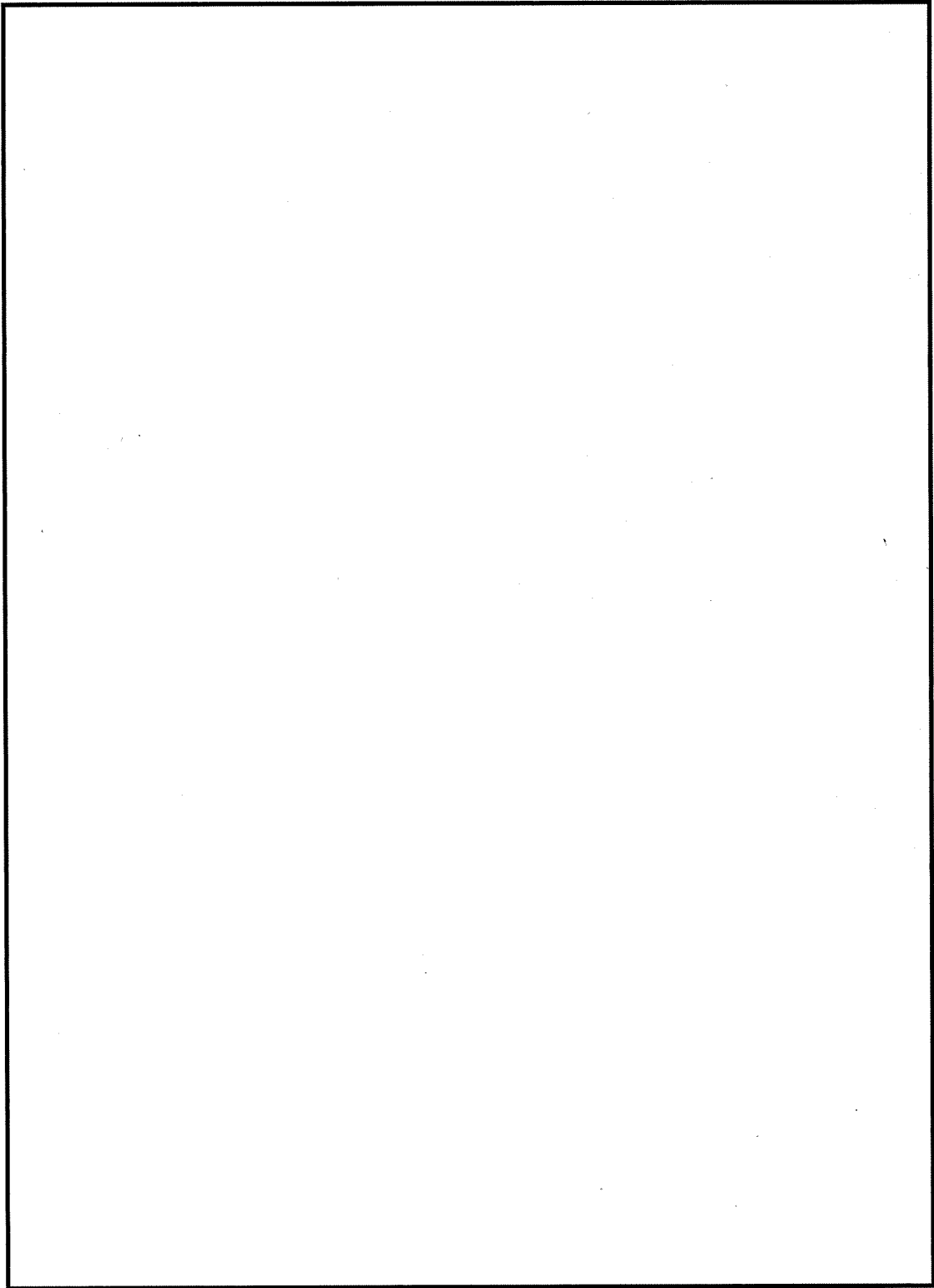


図5 解析モデル (全体)

## 材料物性値 (熱伝導率)

表 1 各部位の材質と熱伝導率

部位		材質	熱伝導率 (W/(m·K)) ※1
空気		—	0.02572 (20℃) 0.03145 (100℃) 0.03803 (200℃) 0.04708 (350℃)
RV	上部胴、冷却材出口管台	SFVQ1A	51.2 (300K) 46.1 (500K) 36.9 (800K)
	下部胴	SFVQ1A	51.2 (300K) 46.1 (500K) 36.9 (800K)
1次冷却材管	ホットレグ	SCS14A	24.3 (300K)
RVサポート	シムプレート	AISI A10相当 (工具鋼相当)	45.1 (300K) 39.2 (600K) 29.9 (1000K)
	サポートシュ	SFVQ1A	51.2 (300K) 46.1 (500K) 36.9 (800K)
	サポートブラケット及び ベースプレート	SM50B (SM490B)	51.6 (300K) 47.8 (500K) 38.2 (800K)
外周プレート		SM50B (SM490B)	51.6 (300K) 47.8 (500K) 38.2 (800K)
リングフレーム、プレッシャデフレクタ、 バッフルプレート		SS41 (SS400)	51.6 (300K) 47.8 (500K) 38.2 (800K)
コンクリート		普通コンクリート (珪岩質骨材コン クリート)	1.5 (293K) 1.1 (600K)
保温材	RV保温材	—	
	1次冷却材管保温材	—	

※1 (出典) 日本機械学会「伝熱工学資料 改訂第5版」(保温材は保温材スペック)  
熱伝導率は記載の値(記載の値は一例)を定義し、その間の温度では解析コード内  
で線形補完した値を設定している

RVサポート直下部の1次遮蔽壁（コンクリート）の温度分布

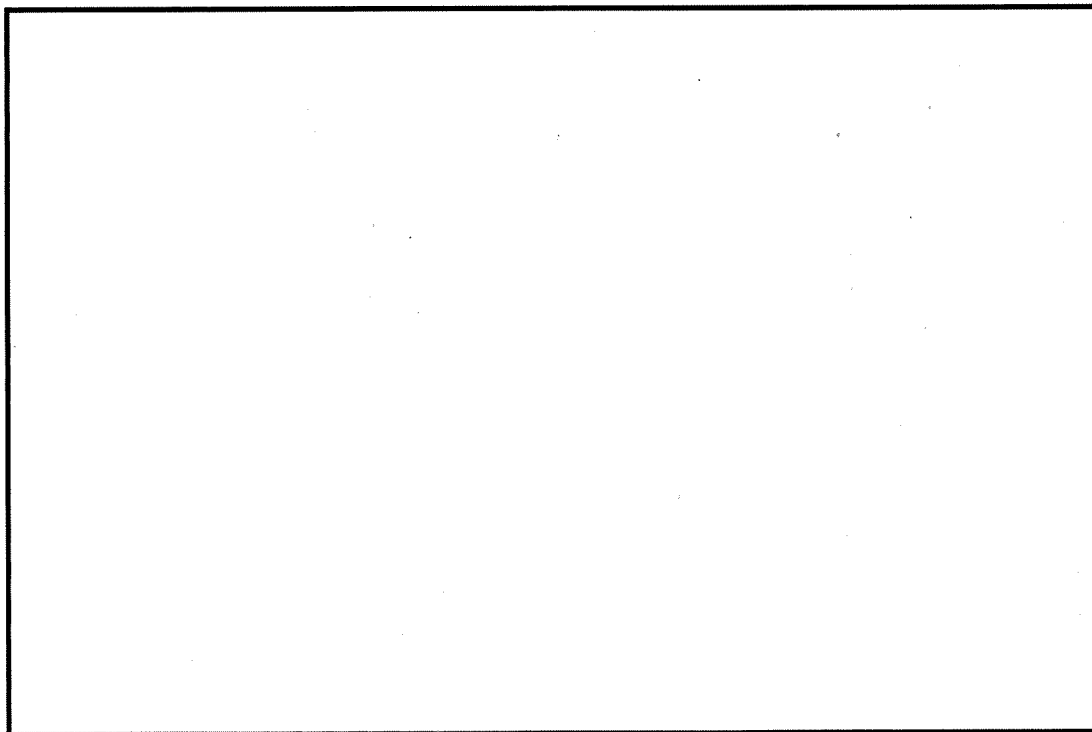


図6 解析モデル全体の温度分布

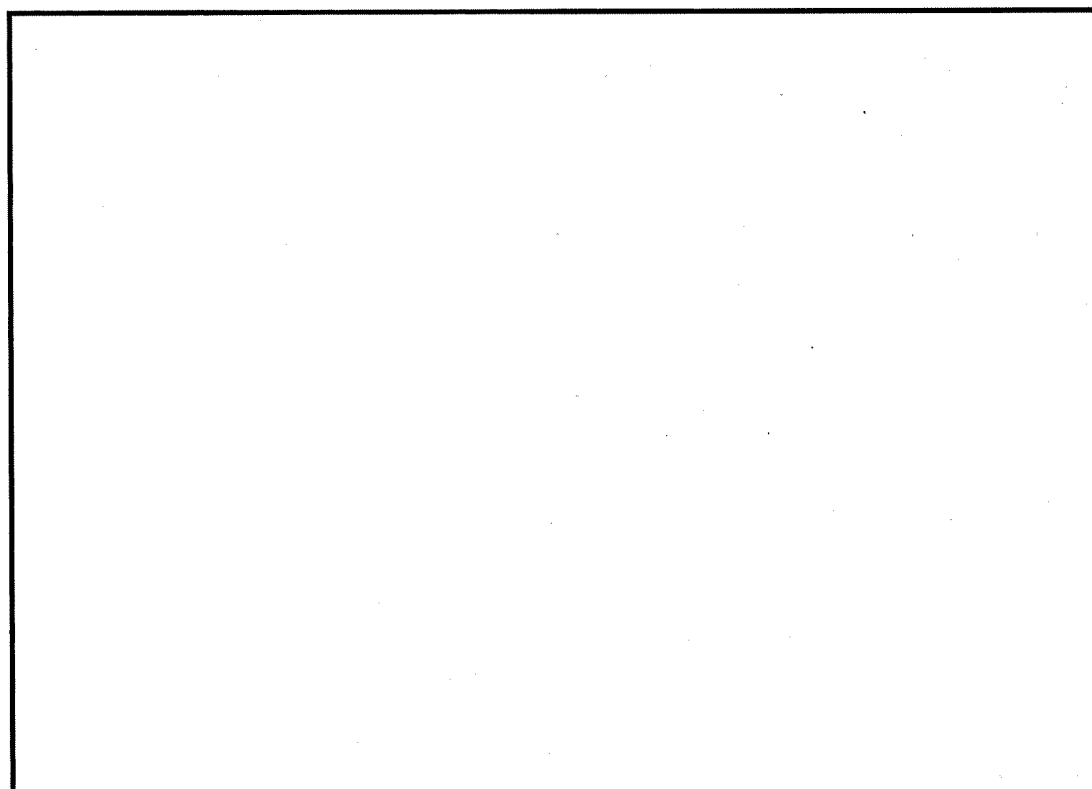


図7 RVサポート廻りのコンクリートの温度分布

## RVサポート直下部近傍の解析値と実測温度の比較

表 2 解析値と実測温度の比較

解析値※	実測値	備考
約52.5℃	約34～41℃	実測値の測定は、2022年2月1日～ 2023年1月31日（1年間）

※ 解析値は、実測温度の測定箇所における値

<p>タイトル</p>	<p>放射線照射量の算出方法などについて</p>
<p>説明</p>	<p>1次遮蔽の放射線照射量は、1次遮蔽における中性子束 (<math>E &gt; 0.098</math> MeV) およびガンマ線量率を2次元輸送計算コードDORTにより算出し、運転時間を掛けることで中性子、ガンマ線照射量を求めている。</p> <p>DORTコードは、米国のオークリッジ国立研究所で開発された中性子輸送方程式を数値的に解くコードであり、入力パラメータは以下のとおりである。</p> <div data-bbox="459 674 1329 1032" data-label="Diagram"> </div> <p>※1 これまでの運転サイクルにおける原子炉出力分布の平均値を用いて原子炉熱出力に相当する分のエネルギー（中性子発生個数）を入力</p> <p>※2 燃料の核分裂により発生する中性子発生個数とエネルギー（物性値）を入力</p> <p>1次遮蔽内の中性子束およびガンマ線量率は、炉心の水平断面形状 (<math>R, \theta</math> 計算) を用いて、1次遮蔽の照射量が最大となる高さ位置の中性子束およびガンマ線量率を各々算出する。</p> <p>また、中性子束およびガンマ線量率の軸方向分布 (<math>\phi(z)</math>) は、水平断面形状 (<math>R, \theta</math> 計算) で算出した中性子束およびガンマ線量率の最大値 (<math>\phi_{max}</math>) を垂直断面形状 (<math>R, Z</math> 計算) より算出した軸方向の補正係数 (<math>fz</math>) を用いて補正することで算出する。</p> $\phi(z) = \phi_{max} \times fz$ <p><math>\phi(z)</math> : 中性子束およびガンマ線量率の軸方向分布  <math>\phi_{max}</math> : 中性子束およびガンマ線量率の最大値  <math>fz</math> : 軸方向の補正係数</p> <p>1次遮蔽内の水平断面形状 (<math>R, \theta</math> 計算) の評価では、図1に示すような形状を入力して、1次遮蔽の最大高さ位置の中性子束およびガンマ線量率を算出している。</p>

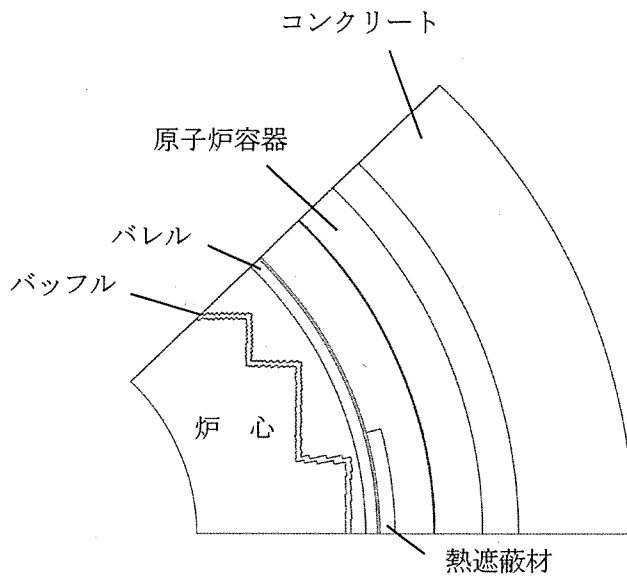


図1 計算モデル図[(R, θ)形状]

また、1次遮蔽内の垂直断面形状 (R, Z計算) の評価では、図2に示すような形状を入力して、軸方向の補正係数 (fz) を算出している。

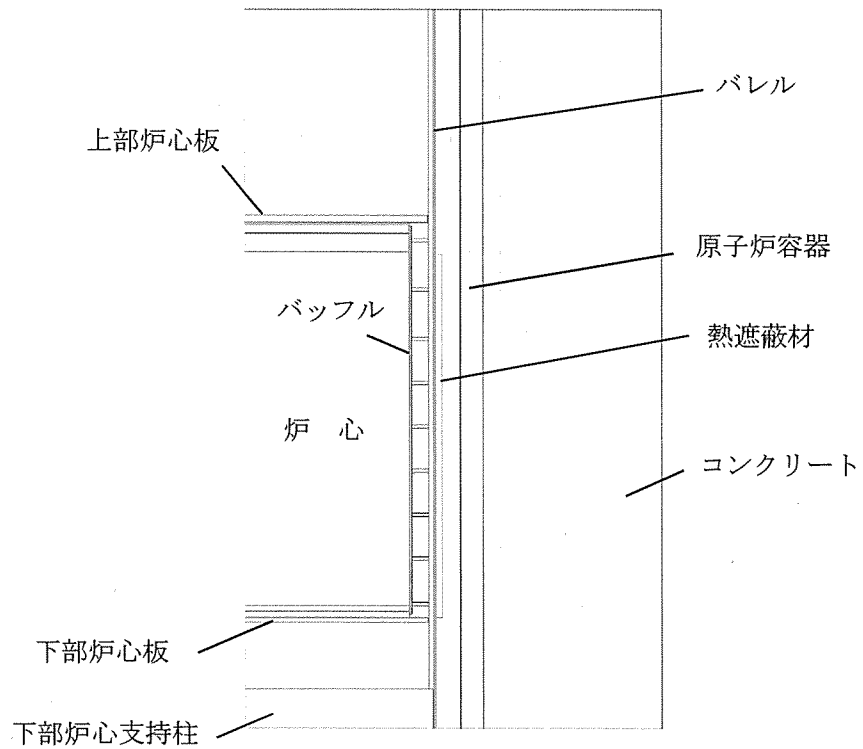


図2 計算モデル図[(R, Z)形状]

以上により算出した1次遮蔽内の中性子束およびガンマ線量率に対し、運転開始後60年経過時点における定格負荷運転年数(51.7EFPY\*)を乗じ、1次遮蔽壁コンクリート炉心側が受ける照射量を算出した結果を表1に示す。

表1 1次遮蔽壁コンクリート炉心側が受ける照射量の最大値

項目	解析結果	備考
中性子照射量	$5.2 \times 10^{19}$ (n/cm <sup>2</sup> )	E>0.098MeV
ガンマ線照射量	$1.6 \times 10^{10}$ (rad)	

運転開始後60年経過時点における定格負荷運転年数については、2020年3月末までは運転実績(17.0EFPY、設備利用率67.2%)を用い、2020年4月以降は設備利用率を100%と仮定して計算している。将来の運転年数は、過去の設備利用率を踏まえて保守的に設定しており、実際の照射量は解析で算出した照射量よりも小さくなると判断している。

\*運転開始後60年経過時点における定格負荷運転年数の予測値

タイトル	中性子照射量を踏まえた構造体の耐力評価について																								
説明	<p>中性子照射量を踏まえた構造体の耐力評価は、以下のとおり行った。</p> <p>中性子照射量が <math>1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2</math> を超える範囲を添付 1 に示す。          中性子照射量が <math>1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2</math> を超える範囲は、炉心中心部で最も大きくなり、深さ方向に最大約 12 cm である。          この範囲は、炉心中心部の 1 次遮蔽壁の断面において <span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span> <math>\text{m}^2</math> であり、断面積全体(約 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span> <math>\text{m}^2</math>) の約 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span> % である。</p> <p>原子炉容器の鉛直方向荷重は、シムプレート、サポートシュおよびサポートリブを、接線方向荷重は、上記に加えてベースプレート、外周プレートおよび埋込補強材(スタッド)を経て 1 次遮蔽壁に伝わるが、添付 2 に示すとおり、荷重に対する耐力評価は既工認にて実施している。          中性子照射の影響を考慮した鉛直方向荷重および接線方向荷重に対する耐力評価を説明する。</p> <p>(1) 鉛直方向荷重に対する評価          中性子照射量が <math>1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2</math> を超える範囲は炉心中心部で最も大きくなり、炉心中心部の <math>1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2</math> を超える範囲を荷重負担部の 1 次遮蔽壁上端から下端まで欠損させた状態を保守的に想定する。(添付 3)          基準地震動 <math>S_s</math> による荷重に対する耐力評価を行った結果、以下のとおり圧縮耐力は地震時の荷重を十分上回っていることを確認した。</p> <p>表 1 原子炉容器支持構造物コンクリート 鉛直方向荷重による圧縮評価</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">欠損想定</th> <th style="width: 25%;">荷重 (kN)</th> <th style="width: 25%;">耐力 (kN)</th> <th style="width: 25%;">耐震裕度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>欠損無</td> <td><span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span></td> <td><span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span></td> <td>2. 1 5</td> </tr> <tr> <td>欠損有</td> <td><span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span></td> <td><span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span></td> <td>2. 1 4</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 接線方向荷重に対する評価          接線方向荷重によるベースプレートの浮き上がり防止のために基礎ボルトが設置されており、基礎ボルトによるコンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積から中性子照射量が <math>1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2</math> を超える範囲を欠損させた状態を想定して耐力評価を行った。欠損範囲については 1 次遮蔽壁の炉心側表面から <math>1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2</math> を超える範囲とし、1 次遮蔽壁上端から下端までを欠損させた状態を保守的に想定する。(添付 4)          基準地震動 <math>S_s</math> による荷重に対する耐力評価を行った結果、以下のとおり引張耐力は地震時の荷重を十分上回っていることを確認した。</p> <p>表 2 原子炉容器支持構造物コンクリート 接線方向荷重による引張評価</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">欠損想定</th> <th style="width: 25%;">荷重 (kN)</th> <th style="width: 25%;">耐力 (kN)</th> <th style="width: 25%;">耐震裕度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>欠損無</td> <td><span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span></td> <td><span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span></td> <td>2. 6 4</td> </tr> <tr> <td>欠損有</td> <td><span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span></td> <td><span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span></td> <td>2. 5 9</td> </tr> </tbody> </table>	欠損想定	荷重 (kN)	耐力 (kN)	耐震裕度	欠損無	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	2. 1 5	欠損有	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	2. 1 4	欠損想定	荷重 (kN)	耐力 (kN)	耐震裕度	欠損無	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	2. 6 4	欠損有	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	2. 5 9
欠損想定	荷重 (kN)	耐力 (kN)	耐震裕度																						
欠損無	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	2. 1 5																						
欠損有	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	2. 1 4																						
欠損想定	荷重 (kN)	耐力 (kN)	耐震裕度																						
欠損無	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	2. 6 4																						
欠損有	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 20px;"> </span>	2. 5 9																						



地震時の構造体の耐力と設計荷重との関係を示す指標の一つとして、基準地震動  $S_s$  による地震力を負担する断面に対するせん断ひずみによる評価がある。現状の基準地震動  $S_s$  に対する最大せん断ひずみと評価基準値は以下に示すとおりであり、評価基準値に対して余裕があることが確認できる。中性子照射量が  $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  を超える範囲を考慮しても健全性に影響を及ぼすものではないと判断できる（添付5）。

表3 内部コンクリート 基準地震動  $S_s$  に対する最大せん断ひずみ評価

内部コンクリート（1次遮蔽壁）における 基準地震動 $S_s$ に対する最大せん断ひずみ	評価基準値 <sup>※1</sup>
約 $0.27 \times 10^{-3}$ <sup>※2</sup>	$2.0 \times 10^{-3}$

※1 （社）日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601-1987）

※2 伊方発電所第3号機 工事計画認可申請書 資料13-16-4  
内部コンクリートの耐震計算書（H28.3.23認可）

以上を踏まえ、保守的に内部コンクリート（1次遮蔽壁）からこの範囲を除いても、構造体の耐力が地震時の鉛直荷重などの設計荷重を上回ることで、地震時のせん断ひずみへの影響が極めて軽微であることを確認していることから、内部コンクリート（1次遮蔽壁）の強度への影響はないと考えられる。

添付1 中性子照射量が  $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  を超える範囲

添付2 原子炉本体の基礎に関する説明書（工事計画認可申請書 H28.3.23認可）

添付3 中性子照射量が  $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  を超える範囲と原子炉容器支持構造物の支圧面との比較

添付4 コーン状破壊面の有効投影面積と接線方向荷重による引張評価においてコンクリートの欠損を想定する範囲との比較

添付5 中性子照射量が  $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  を超える範囲を考慮した基準地震動に対する最大せん断ひずみの確認

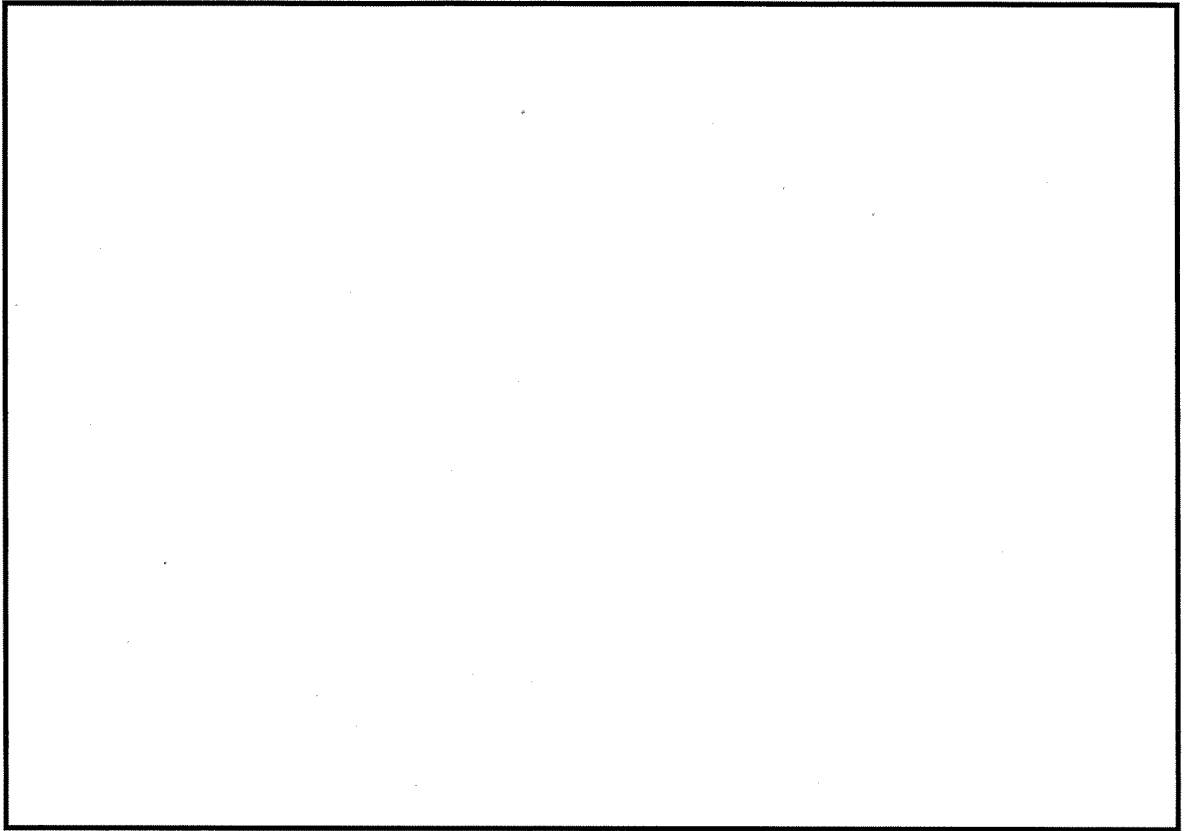


図1-1 炉心中心部での中性子照射線量当量分布解析結果

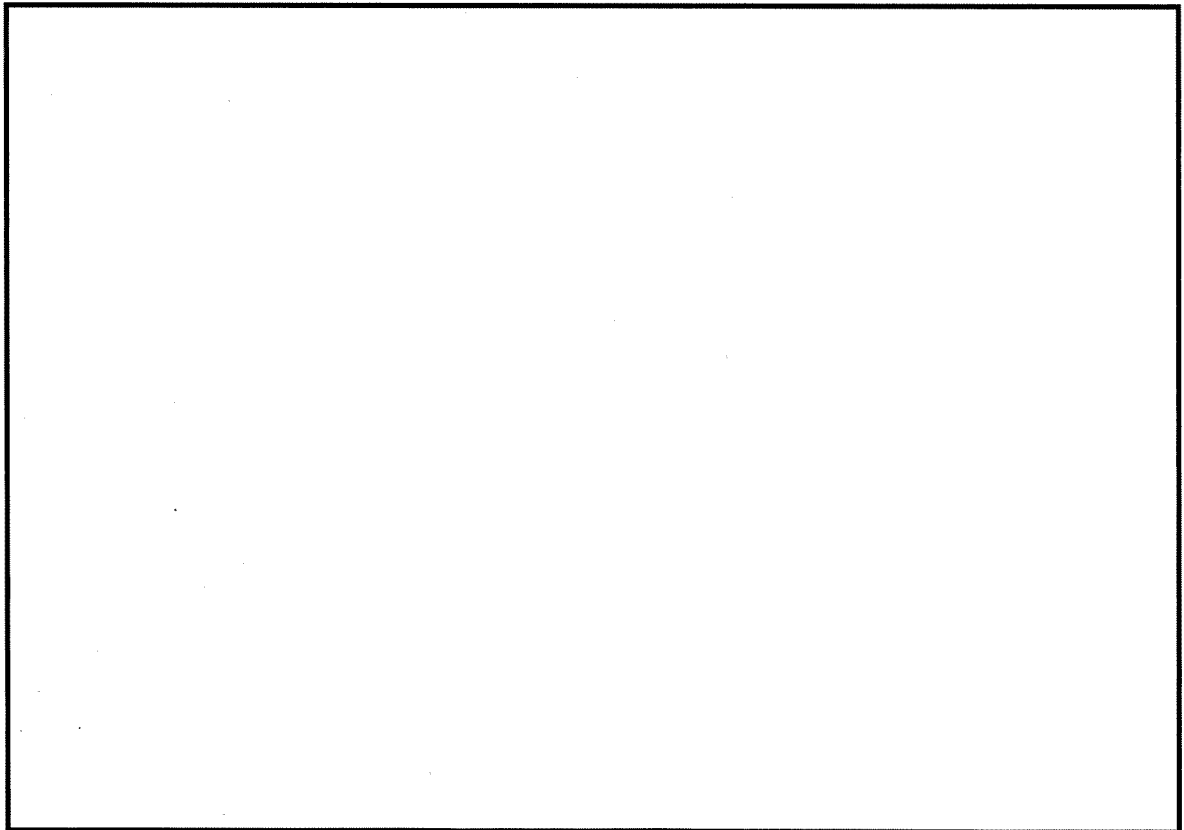
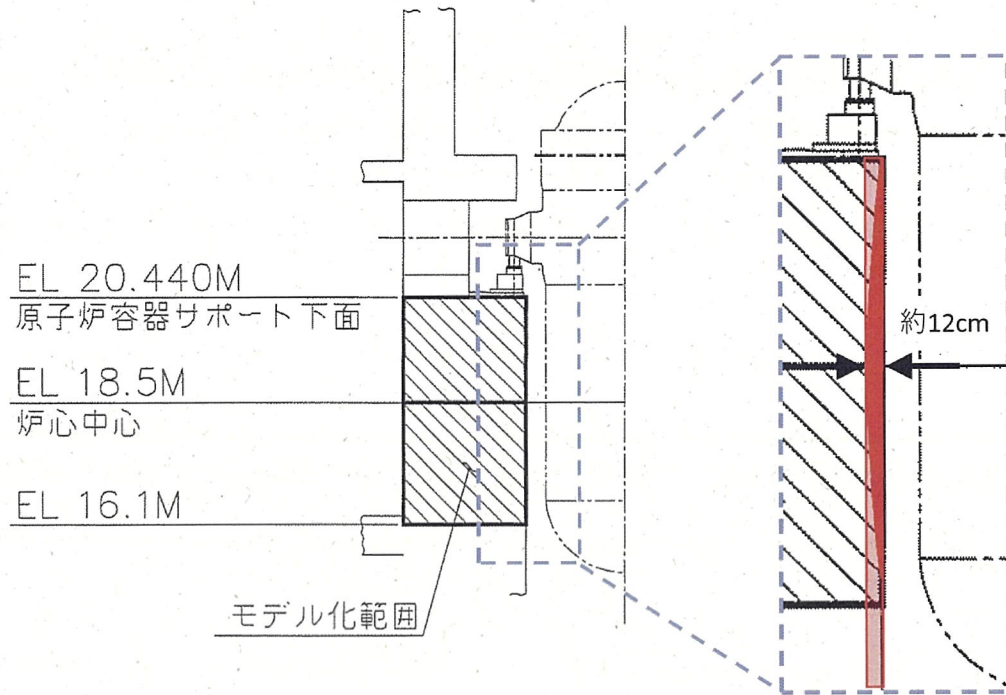


図1-2 中性子照射線量当量分布解析結果 (解析モデル全体)

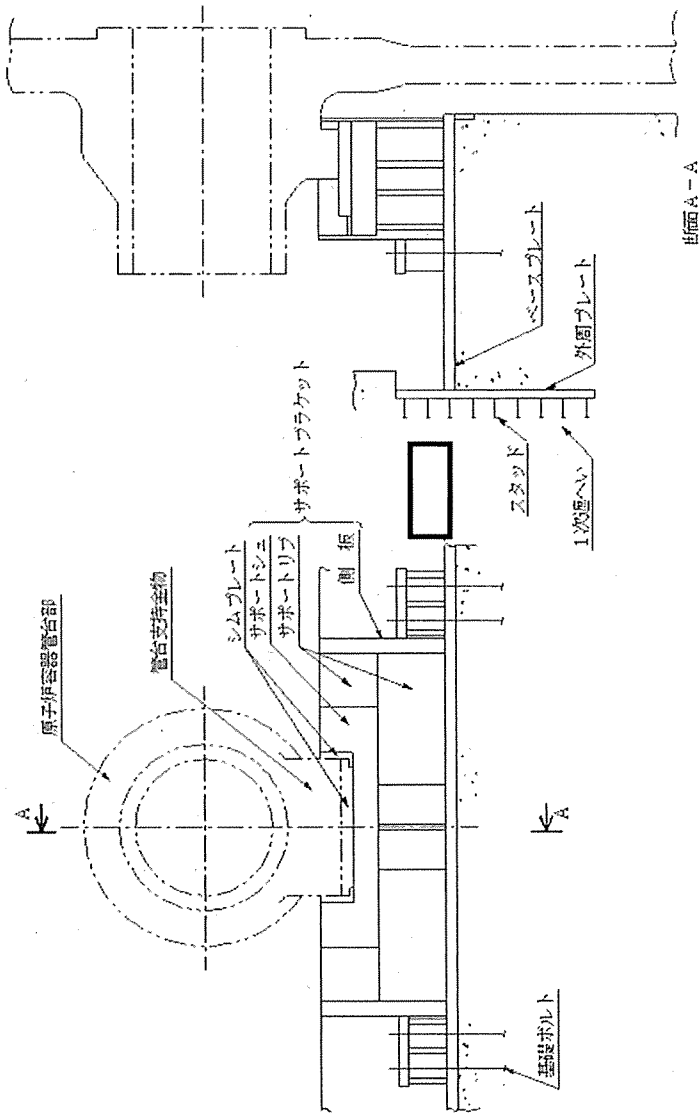


- : 中性子照射により耐力評価上考慮しない範囲
- : 中性子照射量が  $1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$  を超える範囲

図1-3 中性子照射量が  $1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$  を超える範囲のイメージ図 (断面)

原子炉本体の基礎に関する説明書

工事計画認可申請 資料15
伊方発電所第3号機



第1-1図 原子炉容器支持構造物概略図

(3) まとめ

第2-2表に示すとおり、コンクリートの圧縮耐力及び引張耐力は、いずれも地震時の荷重を上回っている。

第2-2表 コンクリートの耐力 (注1) (注2)

(単位：kN)

		Sd地震時		Ss地震時	
		荷重 (注3)	耐力	荷重 (注3)	耐力
圧縮					
圧縮荷重の内訳	自重		-		-
	熱膨張荷重		-		-
	地震荷重		-		-
引張					

(注1) 荷重は、鉛直上向きを正とする。

(注2) 保守的になるように十の位を端数処理しているため、必ずしも合計は一致しない。

(注3) 資料13-17-3-21「1次冷却材管の耐震計算書」に示すループ荷重の値を使用する。

2.4 1次遮蔽コンクリート（間接支持構造物）の強度評価

1次遮蔽コンクリートの強度評価については、資料13-16-4「内部コンクリートの耐震計算書」に示すとおり十分な強度を有している。

中性子照射量が  $1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$  を超える範囲と原子炉容器支持構造物の支圧面との比較

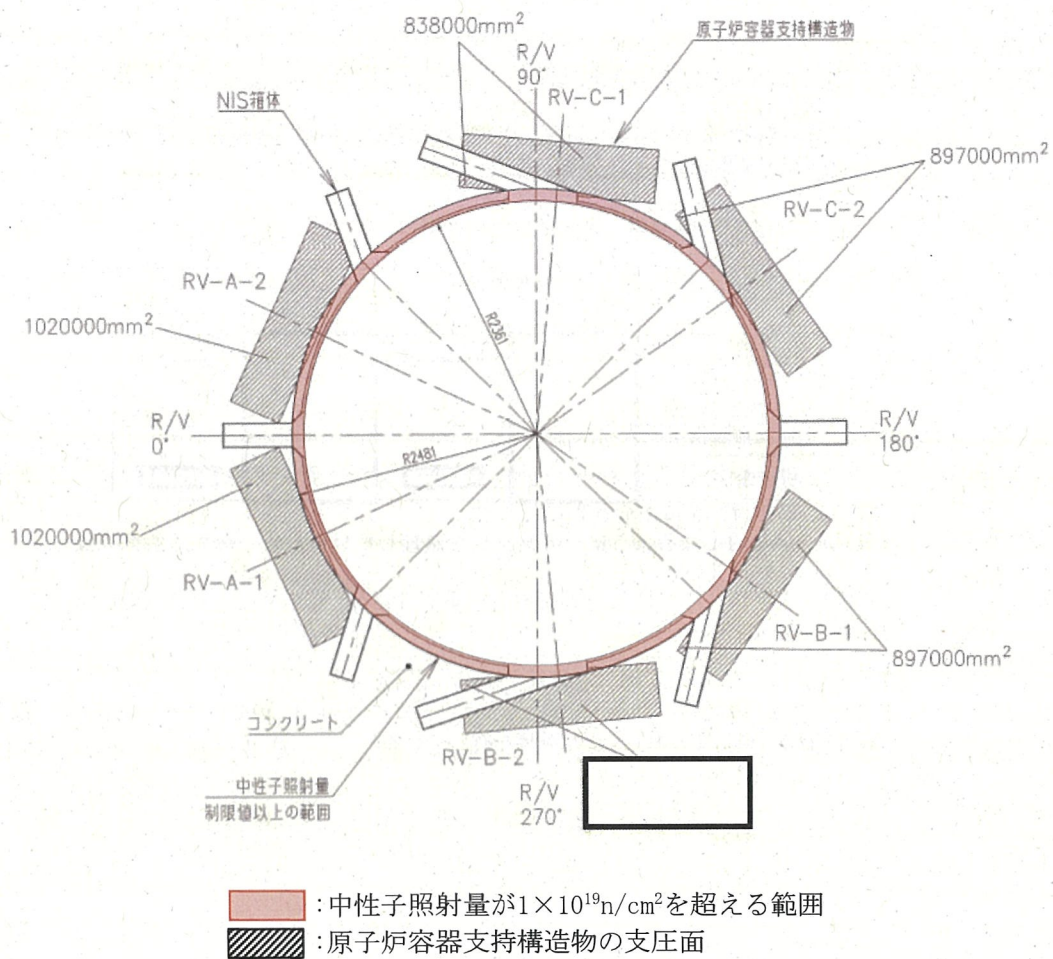


図3-1 中性子照射量が  $1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$  を超える範囲と原子炉容器支持構造物の支圧面との比較

中性子照射量が  $1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$  を超える範囲を考慮すると、支圧面積最小部位においては、欠損無の支圧面積   $\text{mm}^2$  が   $\text{mm}^2$  となる。

コーン状破壊面の有効投影面積と接線方向荷重による引張評価において  
コンクリートの欠損を想定する範囲との比較

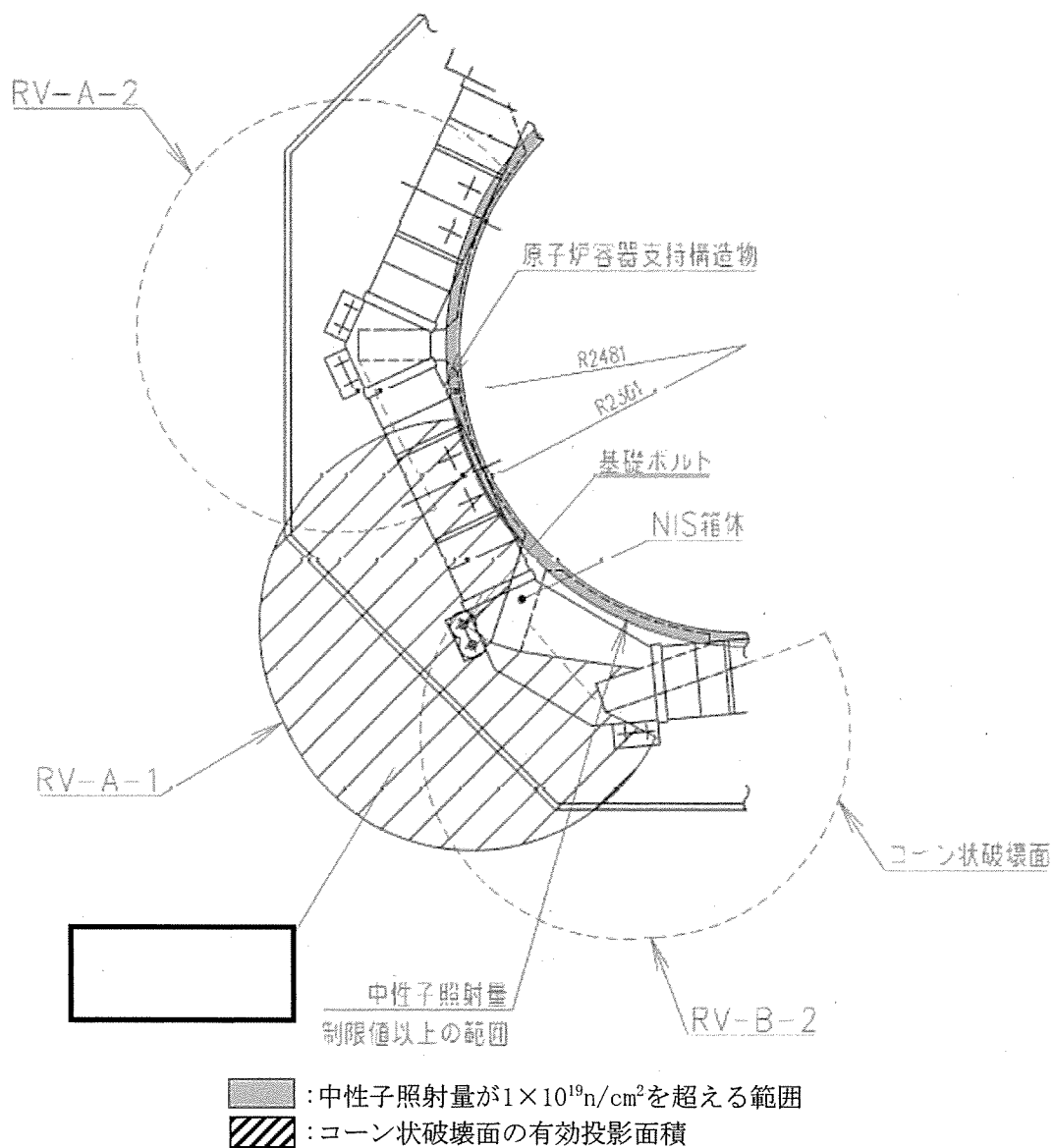


図4-1 コーン状破壊面の有効投影面積と接線方向荷重による引張評価においてコンクリートの欠損を想定する範囲との比較

一部の有効投影面積に中性子照射量が $1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$ を超える範囲を考慮すると、欠損無の有効投影面積   $\text{mm}^2$  が   $\text{mm}^2$  となる。



中性子照射量が $1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$ を超える範囲を考慮した  
基準地震動 $S_s$ に対する最大せん断ひずみの確認

伊方3号炉の1次遮蔽壁において、中性子照射量が $1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$ を超える範囲のコンクリートが欠損したと仮定し、その範囲のコンクリート強度を期待しない場合の最大せん断ひずみについて検討を実施した。

(1) 中性子照射を考慮しない場合の最大せん断ひずみ

伊方3号炉の内部コンクリート（1次遮蔽壁含む）における、基準地震動 $S_s$ に対する最大せん断ひずみは、 $0.27 \times 10^{-3}$ である。

(出典：伊方電所第3号機 工事計画認可申請書 資料13-16-4  
内部コンクリートの耐震計算書)

(2) 中性子照射を考慮した場合の最大せん断ひずみ

せん断ひずみ $\gamma$ は、以下の式で算出される。

$$\gamma = \tau / G$$

$\tau$ ：せん断応力

$G$ ：せん断弾性係数

ここで、 $\tau$ ：せん断応力については、中性子照射量が $1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$ を超える範囲のコンクリートが欠損したと仮定すると、断面積の比に反比例して増加する。

一方、 $G$ ：せん断弾性係数は、コンクリートの物性値であることから、中性子照射の影響がない範囲の値は照射後においても変化がないといえる。

よって、中性子照射を考慮した場合の最大せん断ひずみは、せん断断面積の比率で検討することができる。

仮に中性子照射を考慮した場合の最大せん断ひずみについて、安全側に1次遮蔽壁のみの断面積比率で検討した場合、以下のとおりとなる。断面積の比率でみても約 [ ] %程度の影響であり、最大せん断ひずみの評価に影響を及ぼすものではないことが確認できる。

$$0.27 \times 10^{-3} \times ( [ ] )$$

$$= [ ]$$

$$\Rightarrow [ ]$$

タイトル	中性化の評価対象および評価点の選定過程について
説明	<p>中性化の評価対象および評価点の選定過程を以下に示す。</p> <p>1. 環境測定</p> <p>中性化の進展度合いは、空気環境条件（二酸化炭素濃度、温度および相対湿度）の影響を受けることから、2022年から2023年にかけて環境測定を実施した。</p> <p>1.1 測定方法</p> <p>環境測定に使用した機器を添付1「環境測定 使用機器」に示す。温度および相対湿度は、2022年2月1日から2023年1月31日の期間で、1時間間隔で測定を行った。二酸化炭素濃度は、温湿度と同期間にて、1回/月の頻度で測定を行った。</p> <p>1.2 測定位置</p> <p>二酸化炭素濃度、温度および相対湿度とも、建屋内外で計119箇所にて測定を実施した。測定位置を添付2「環境測定 測定位置図」に示す。</p> <p>2. 評価対象の選定過程</p> <p>中性化の評価対象は、空気環境の影響を遮断する仕上げの状況、上記の環境測定の結果などに基づく中性化に及ぼす影響度の大きさ、運転開始後経過年数を踏まえ、以下のとおり選定した。</p> <p>2.1 仕上げ状況</p> <p>代表構造物のうち、仕上げが施されていない部位がある構造物を選定し、設置環境を屋内と屋外に分類する。屋外については、対象となる構造物が海水ピットのみであることから、海水ピットを評価対象として選定し、屋内については、2.2および2.3を踏まえて選定した。</p> <p>2.2 中性化に及ぼす影響度の大きさ</p> <p>仕上げが施されていない部位がある代表構造物のうち、屋内については、環境測定の測定結果などに基づく中性化に及ぼす影響度が最も大きくなった外部遮蔽壁の屋内面を選定した。なお、中性化に及ぼす影響度については、空気環境条件（二酸化炭素濃度、温度および相対湿度）が入力値となる森永式を引用し、環境条件による係数によって算出した。影響度の算出結果のうち、代表構造物ごとの影響度の最大値を添付3「環境条件による影響度」に示す。</p> <p>2.3 運転開始後経過年数の長さ</p> <p>仕上げが施されていない部位がある代表構造物のうち、運転開始後経過年数が長く、中性化が進展していると思われる構造物として焼却炉建家の屋内面を選定した。</p>

3. 評価点の選定過程

屋内の評価点は、外部遮蔽壁、焼却炉建家のうち塗装等のコンクリート表面仕上げが無い屋内面の壁を選定した。

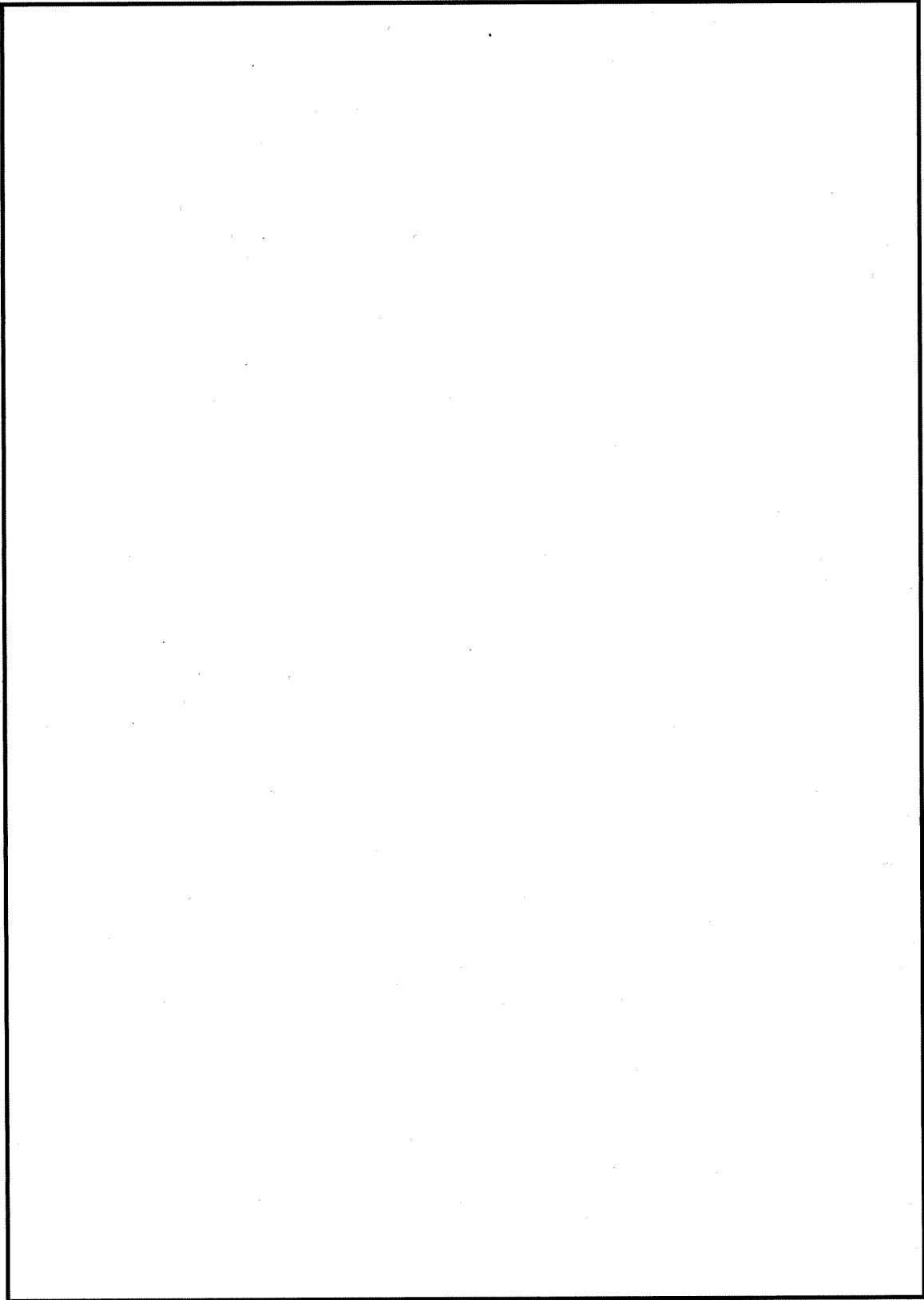
屋外の評価点は、海水ピットのうち塗装等のコンクリート表面仕上げが無い気中帯を選定した。

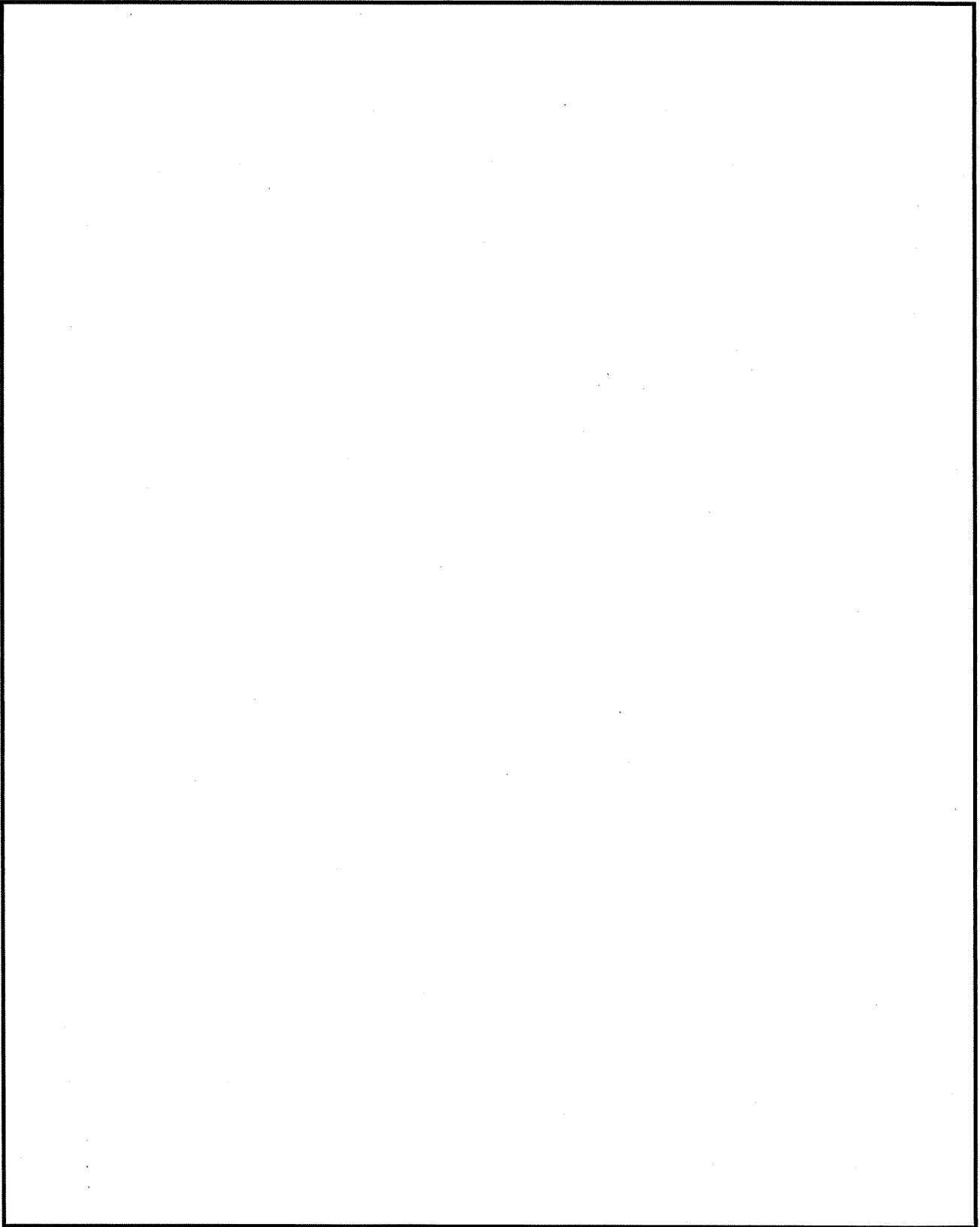
- 添付1 環境測定 使用機器
- 添付2 環境測定 測定位置図
- 添付3 環境条件による影響度

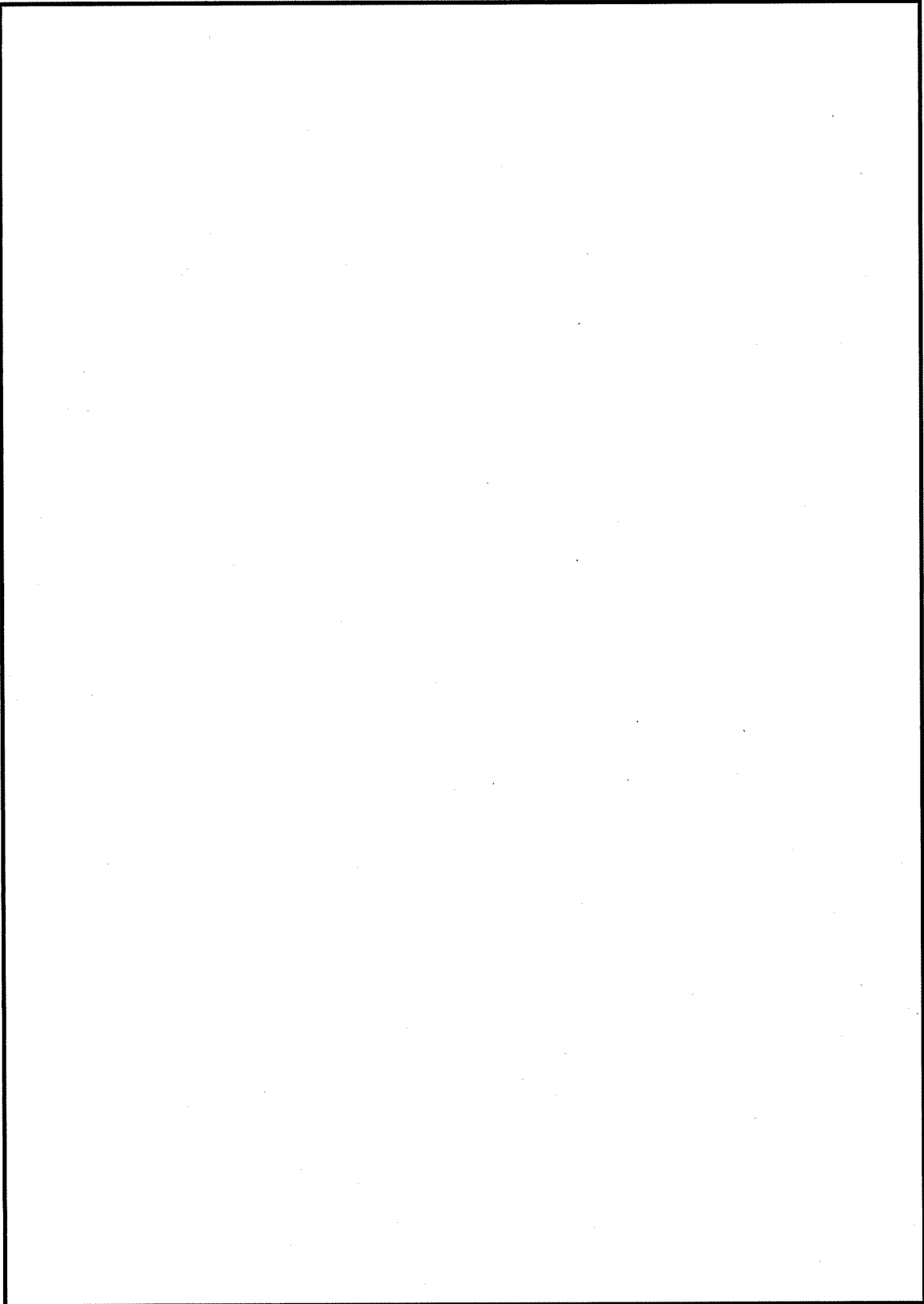
## 環境測定 使用機器

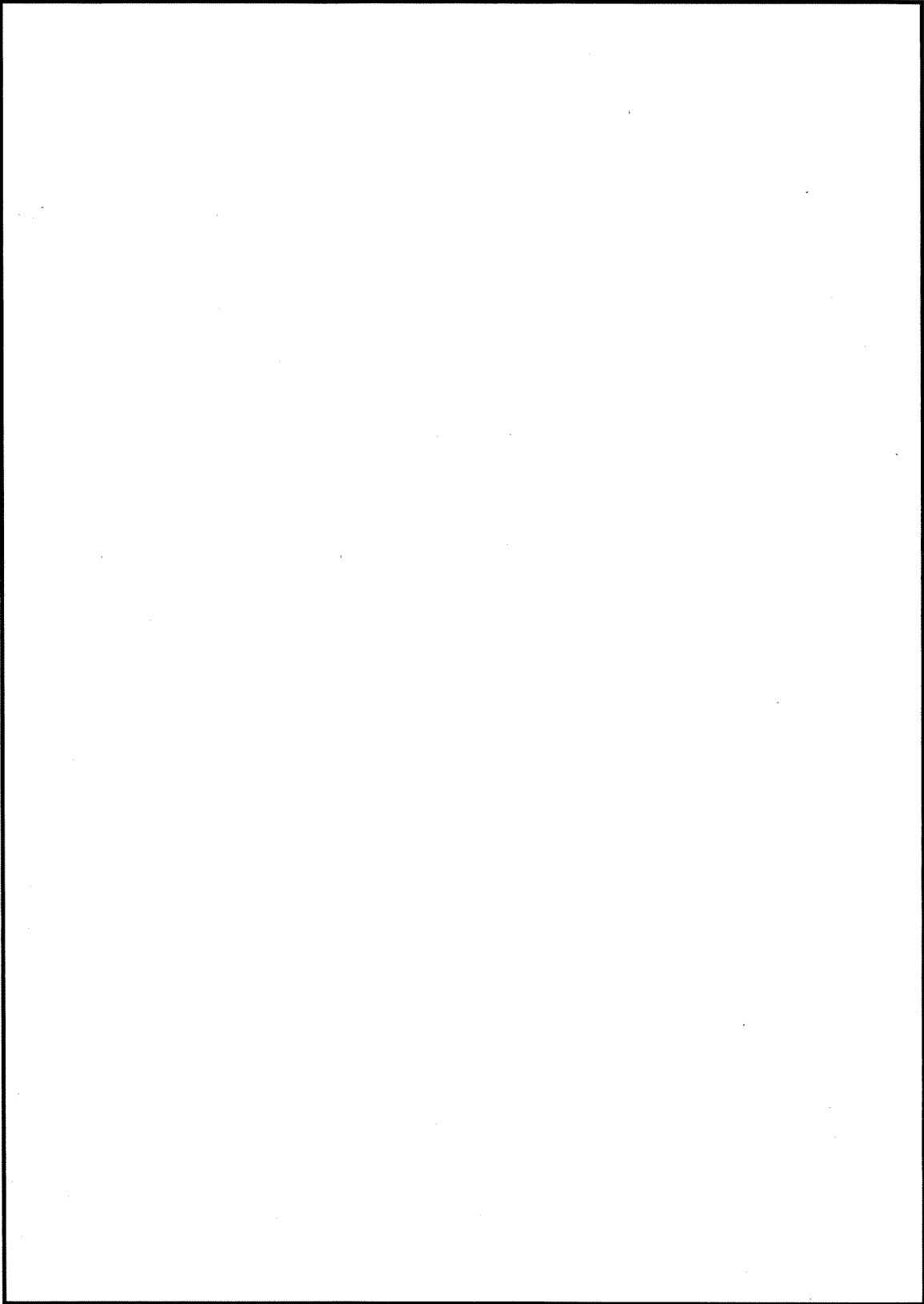
測定場所	測定項目	使用機器
構内各所	温度	温湿度計
	相对湿度	
	二酸化炭素濃度	二酸化炭素濃度計

環境測定 測定位置図

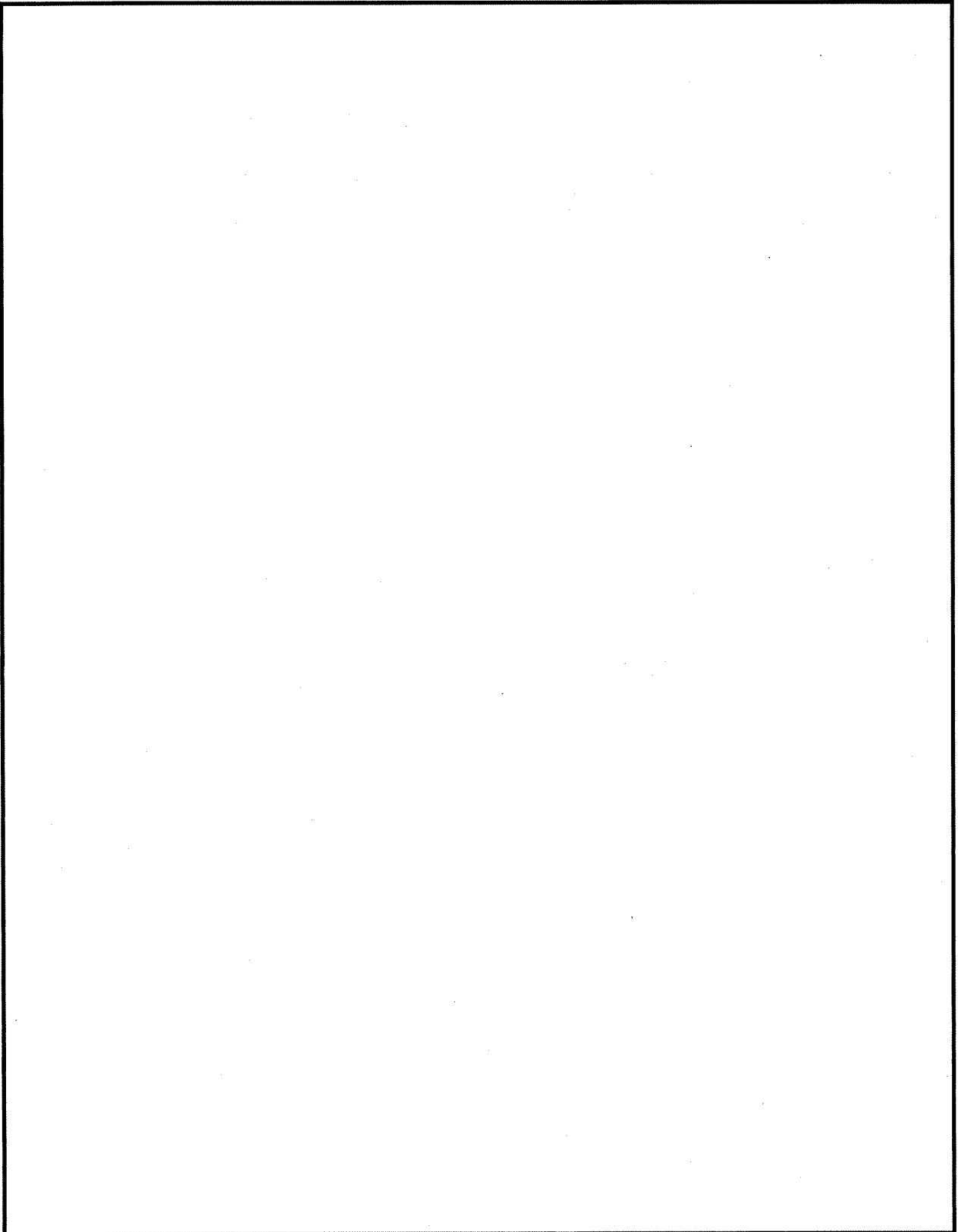


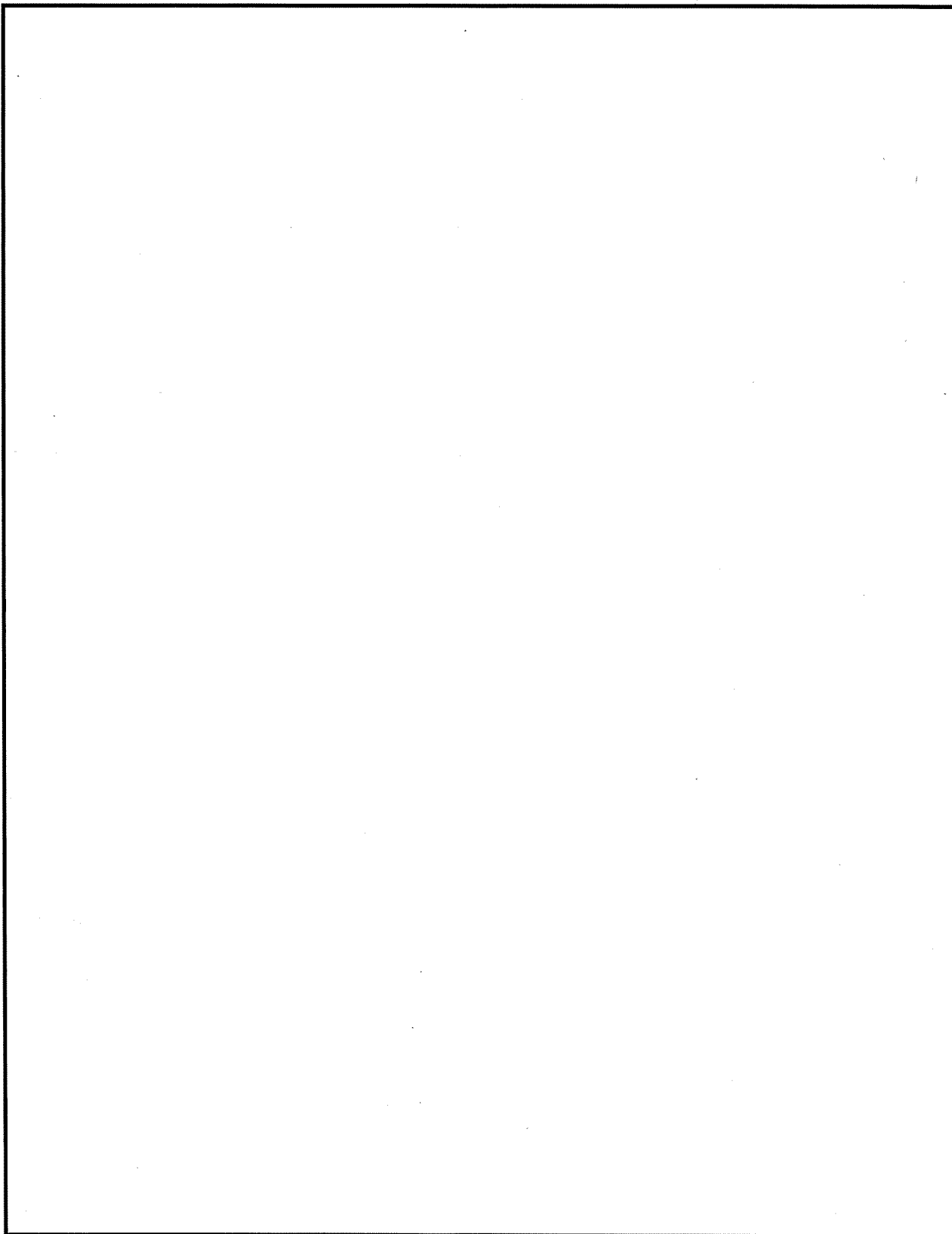


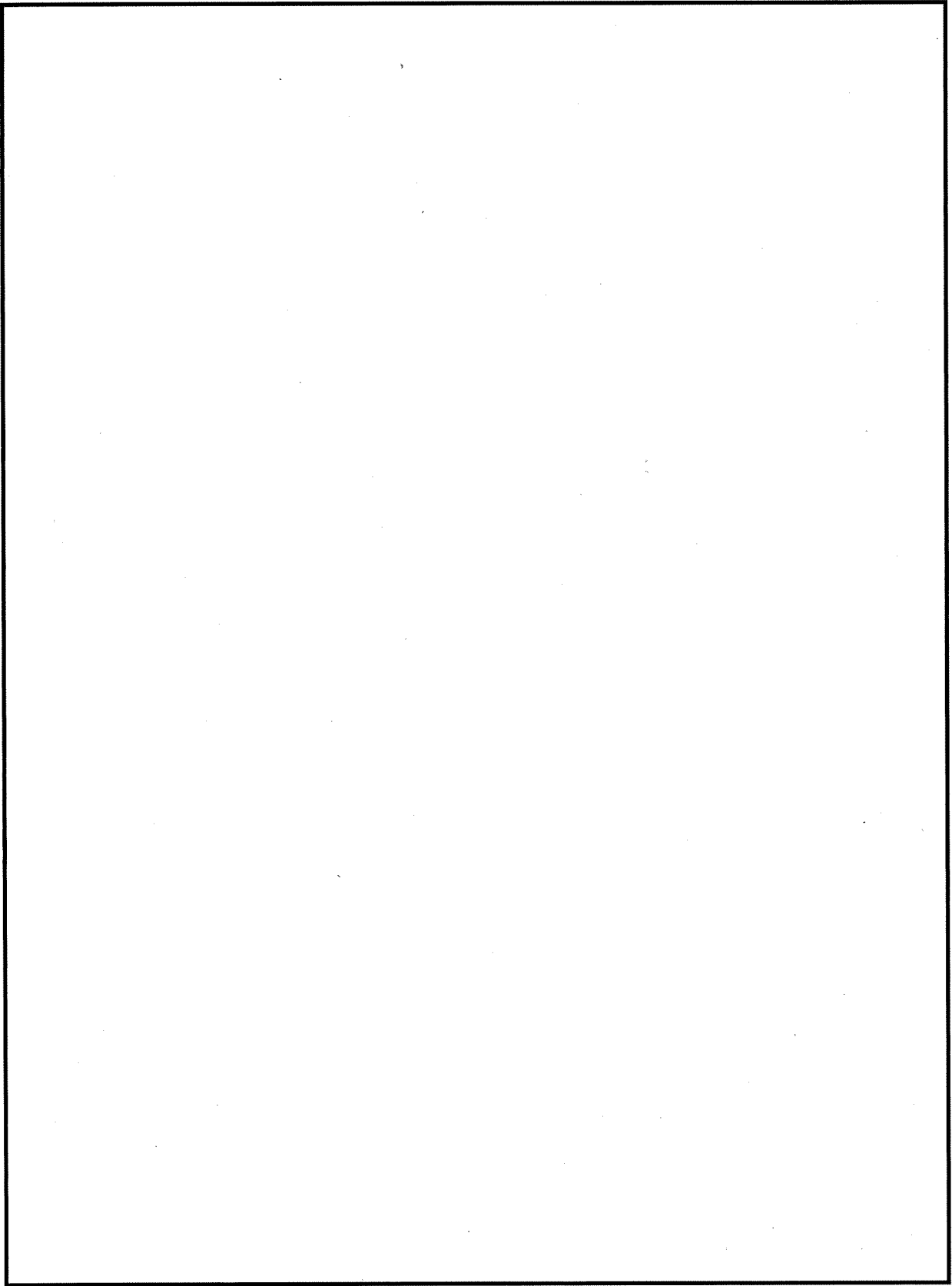


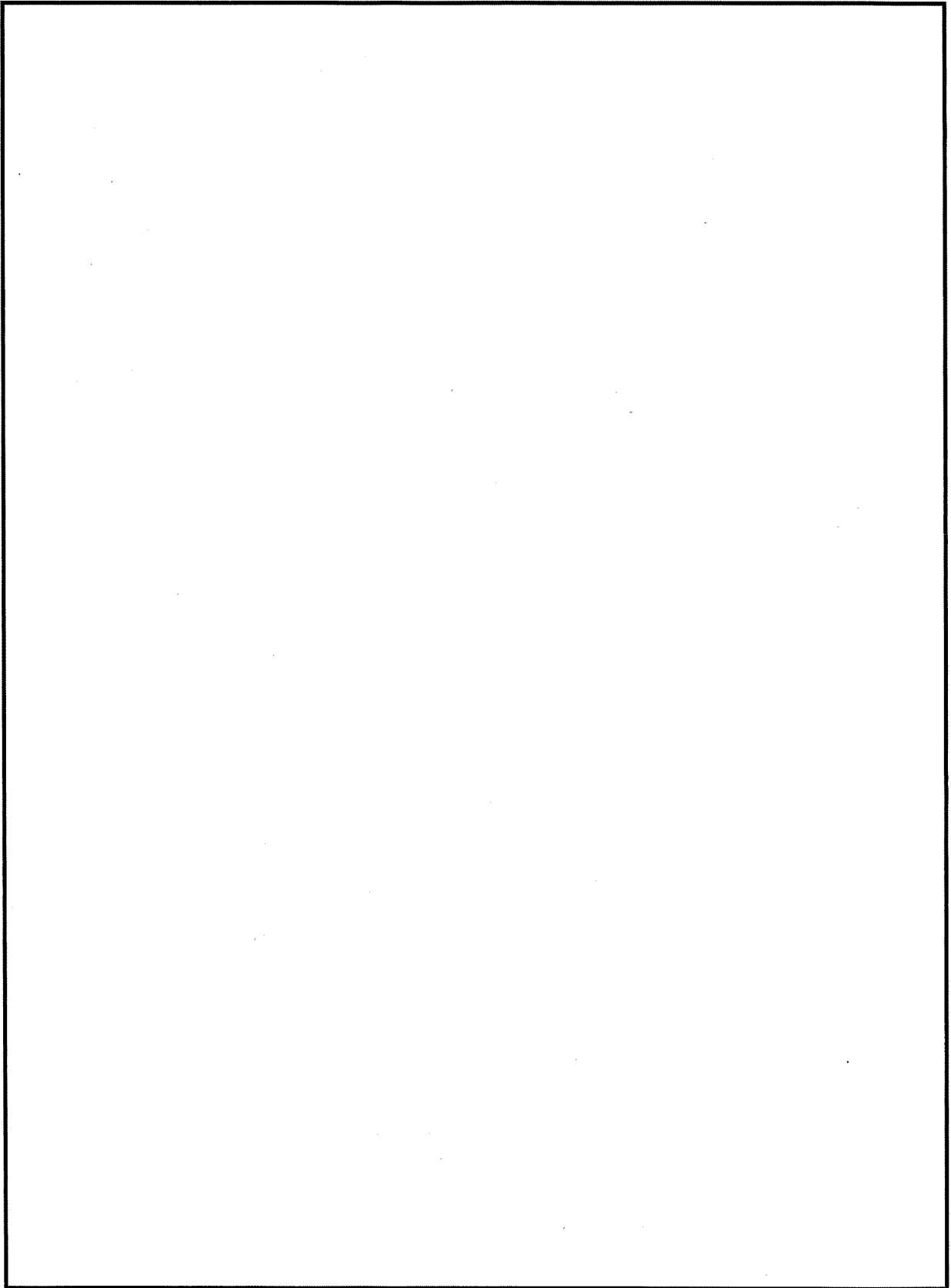


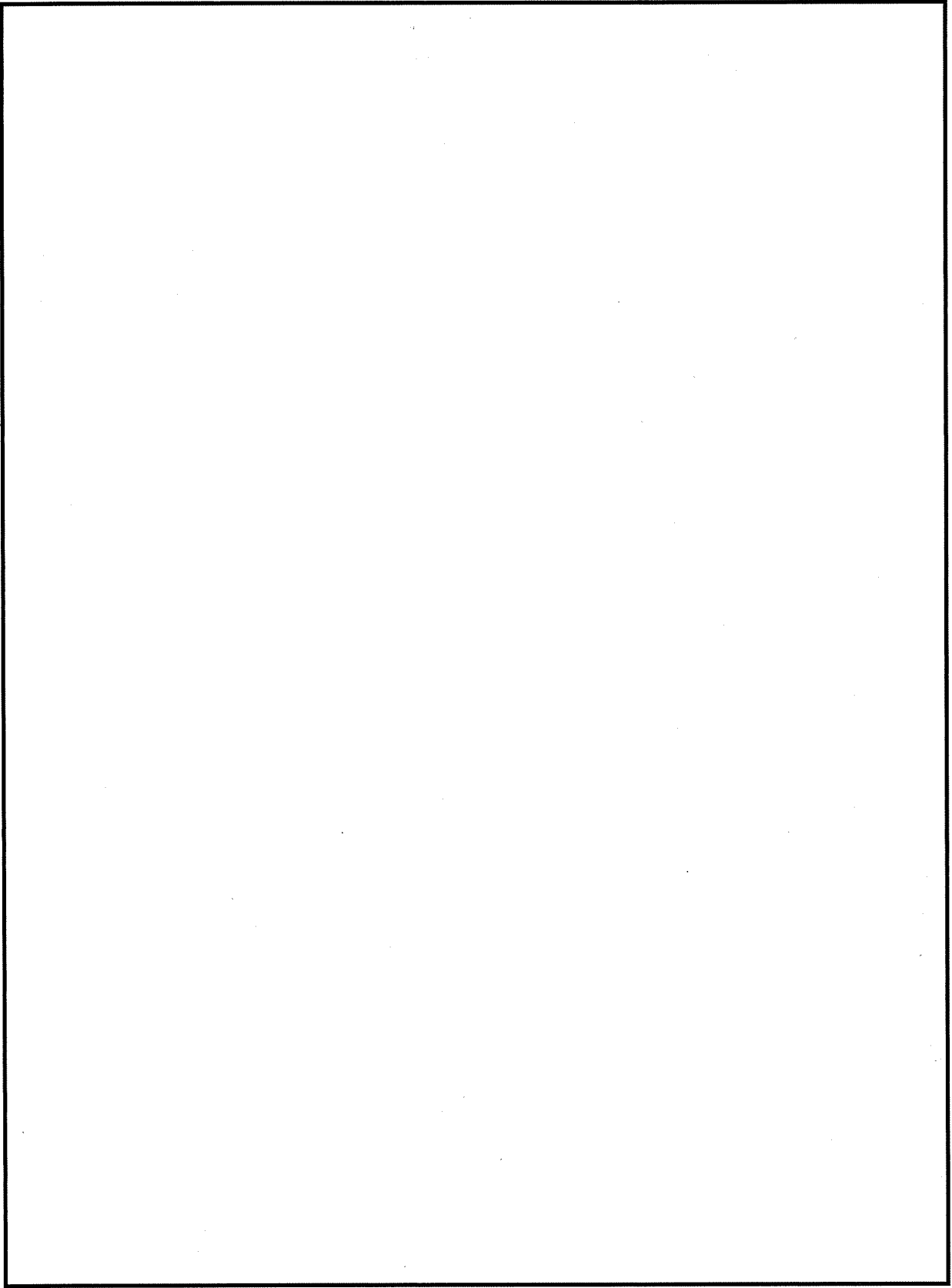


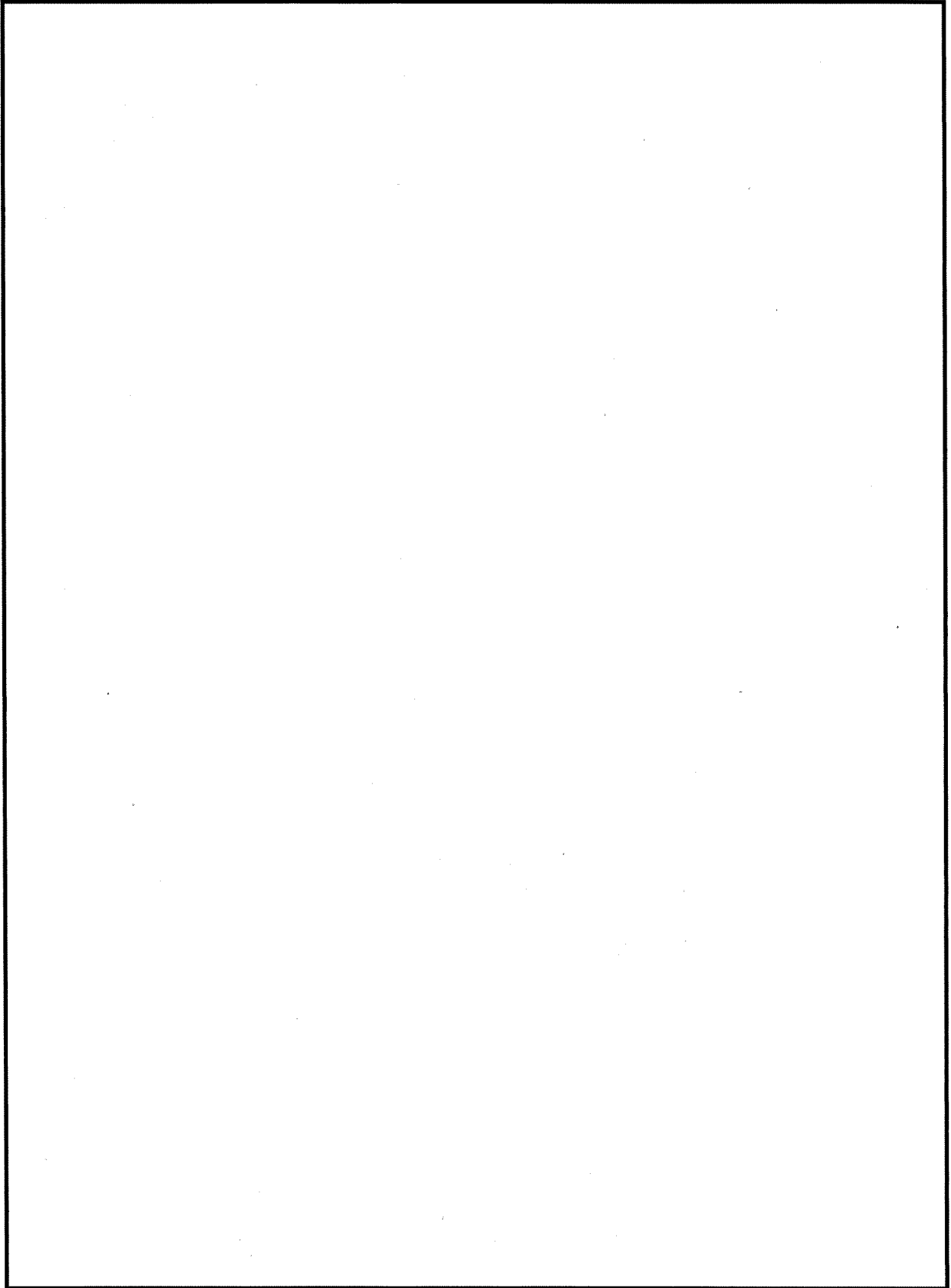


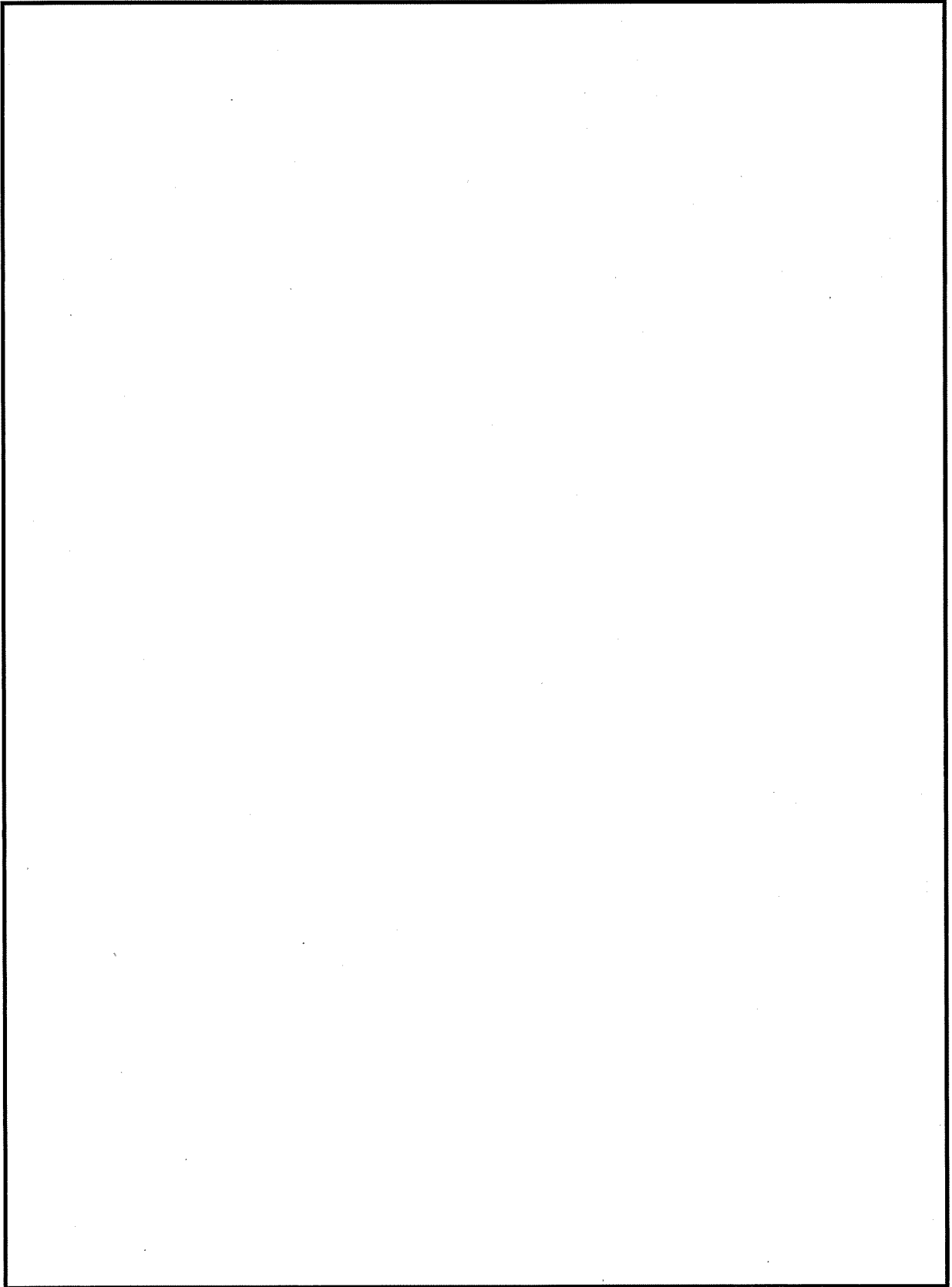


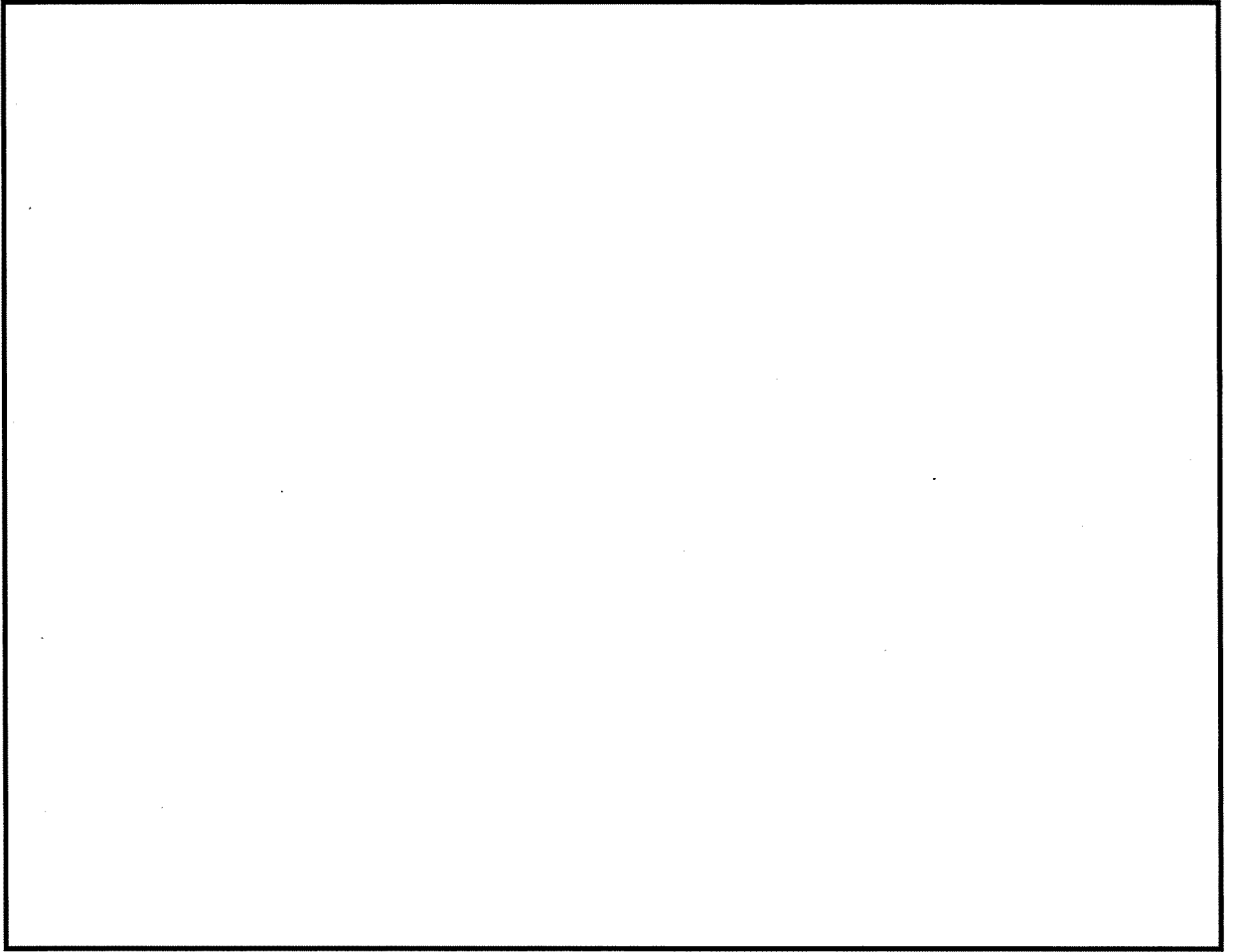














## 環境条件による影響度

代表構造物	温度 [°C]	相対湿度 [%]	CO <sub>2</sub> 濃度 [ppm]	環境条件による 影響度 [-]
外部遮蔽壁	36.4	26.9	493	0.385
内部コンクリート	37.3	36.2	380	0.311
原子炉格納施設基礎	31.1	37.2	525	0.331
原子炉建屋	36.7	20.5	388	0.364
原子炉補助建屋	28.6	35.1	520	0.325
焼却炉建家	21.9	54.4	525	0.217
タービン建屋	25.9	41.8	405	0.252

- ・ 測定期間：2022年2月1日～2023年1月31日
- ・ 代表構造物ごとに影響度が最も大きくなったものを示す
- ・ 森永式における環境条件による係数（下記赤下線部）から算出
- ・ 環境条件による影響度の算出に用いている環境データは、実測値に基づく。

$$x = \sqrt{C} \cdot \underline{(1.391 - 0.017 \cdot RH + 0.022T)} \cdot \frac{1}{\sqrt{5}} \cdot 2.44 \cdot R \cdot (4.6 \cdot w/c/100 - 1.76) \cdot \sqrt{t}$$

$x$  : 中性化深さ (mm)

$RH$  : 湿度 (%)

$T$  : 温度 (°C)

$w/c$  : 水セメント比 (%)

$t$  : 材齢 (日)

$R$  : 中性化比率

$C$  : 炭酸ガス濃度 (%)  
(1%=10,000ppm)

<p>タイトル</p>	<p>中性化深さの推定値の算定過程および結果について</p>																															
<p>説明</p>	<p>調査時点および運転開始後 60 年経過時点の中性化深さの推定値の算定過程（推定式、条件、パラメータ）および結果を以下に示す。</p> <p>1. 推定式、条件、パラメータ          以下の中性化深さを推定する式を用いて評価を実施した。推定式の詳細、条件およびパラメータは、添付 1 「中性化深さの推定値の算定過程および結果」に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・岸谷式</li> <li>・森永式</li> <li>・中性化深さの実測値に基づく<math>\sqrt{t}</math>式</li> </ul> <p>2. 結果          運転開始後 60 年経過時点の中性化深さの推定値が、鉄筋が腐食し始めるときの中性化深さを下回っていることを確認した。          中性化深さを評価した結果を以下に示す。なお、添付 2 に示すとおり、実測値は測定値の平均値である。</p> <p style="text-align: center;">伊方 3 号炉 コンクリートの中性化深さ</p> <table border="1" data-bbox="434 1115 1343 1619"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">調査時点の中性化深さ</th> <th rowspan="2">3 号炉運転開始後 60 年経過時点の中性化深さ*2 (cm) (推定式)</th> <th rowspan="2">鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ (cm)</th> </tr> <tr> <th>経過年数</th> <th>実測値 (cm)</th> <th>推定値 (cm) (推定式)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>外部遮蔽壁 (屋内面)</td> <td>26 年</td> <td>0.4</td> <td>3.2 (森永式)</td> <td>4.8 (森永式)</td> <td>7.0</td> </tr> <tr> <td>焼却炉建家 (屋内面)</td> <td>38 年*1</td> <td>1.5</td> <td>3.0 (岸谷式)</td> <td>4.1*3 (岸谷式)</td> <td>7.0</td> </tr> <tr> <td>海水ピット (気中帯)</td> <td>26 年</td> <td>0.3</td> <td>1.5 (岸谷式)</td> <td>2.2 (岸谷式)</td> <td>8.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1 焼却炉建家の運用開始後の経過年数を示す。3 号炉運転開始後の経過年数は 26 年          *2 岸谷式、森永式および実測値に基づく<math>\sqrt{t}</math>式による評価結果のうち最大値を記載          *3 焼却炉建家運用開始後の経過年数（72 年）での値を記載</p> <p>添付 1 中性化深さの推定値の算定過程および結果          添付 2 中性化深さの実測値の元となる測定値</p>						調査時点の中性化深さ			3 号炉運転開始後 60 年経過時点の中性化深さ*2 (cm) (推定式)	鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ (cm)	経過年数	実測値 (cm)	推定値 (cm) (推定式)	外部遮蔽壁 (屋内面)	26 年	0.4	3.2 (森永式)	4.8 (森永式)	7.0	焼却炉建家 (屋内面)	38 年*1	1.5	3.0 (岸谷式)	4.1*3 (岸谷式)	7.0	海水ピット (気中帯)	26 年	0.3	1.5 (岸谷式)	2.2 (岸谷式)	8.5
	調査時点の中性化深さ			3 号炉運転開始後 60 年経過時点の中性化深さ*2 (cm) (推定式)	鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ (cm)																											
	経過年数	実測値 (cm)	推定値 (cm) (推定式)																													
外部遮蔽壁 (屋内面)	26 年	0.4	3.2 (森永式)	4.8 (森永式)	7.0																											
焼却炉建家 (屋内面)	38 年*1	1.5	3.0 (岸谷式)	4.1*3 (岸谷式)	7.0																											
海水ピット (気中帯)	26 年	0.3	1.5 (岸谷式)	2.2 (岸谷式)	8.5																											

## 中性化深さの推定値の算定過程および結果

: 中性化深さの推定に必要なパラメータ

: 推定結果

## 1. 岸谷式

	外部遮蔽壁 (屋内面)	焼却炉建家 (屋内面)	海水ビット (気中帯)	備考
	屋内仕上げ無	屋内仕上げ無	屋外仕上げ無	
W : 水セメント比 (%)	55.0	55.0	50.0	
$\alpha$ : 劣化外力係数	1.3	1.3	1.0	外部遮蔽壁: 実測値に基づく補正值 焼却炉建家: 実測値に基づく補正值 海水ビット: 屋外
$\beta$ : 仕上げ材による係数	1.0	1.0	1.0	仕上げ無
$\gamma$ : セメントによる係数	1.4	1.2	1.4	外部遮蔽壁: フライアッシュセメント同等 焼却炉建家: 中麻熟セメント 海水ビット: フライアッシュセメント同等
調査時点の推定値 (cm) (経過年数)	2.7 (26年)	3.0 (38年)	1.5 (26年)	
運転開始後60年経過 時点の推定値 (cm)	4.1	4.1 (72年)	2.2	

$$\text{岸谷式} \quad t = \frac{7.2}{R^2 \cdot (4.6 \cdot w - 1.76)^2} \cdot x^2$$

- t : 深さ x までの中性化する期間 (年)       $\alpha$  : 劣化外力の区分による係数  
x : 中性化深さ (mm)                               $\beta$  : 仕上げ材による係数  
w : 水セメント比 (%)                               $\gamma$  : セメントによる係数  
R : 中性化比率 ( $R = \alpha \times \beta \times \gamma$ )

岸谷式の外部遮蔽壁 (屋内面) および焼却炉建家 (屋内面) に用いた劣化外力係数の算出に当たっては、「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針 (案)・同解説 (1991) (日本建築学会)」を参照し、岸谷式の根拠となっている屋外二酸化炭素濃度データの最低値である 300ppm を基準として、当該部位での二酸化炭素濃度の実測値を屋外二酸化炭素濃度データの最低値 (300ppm) で除した値の平方根で算出している。

## ・ 外部遮蔽壁 (屋内面)

$$\text{劣化外力係数 } \alpha = \sqrt{C / C_0} = 1.28 \rightarrow 1.3$$

$C_0$  : 屋外二酸化炭素濃度データの最低値 (300ppm)

C : 外部遮蔽壁 (屋内面) における二酸化炭素濃度の実測値 (493ppm)

## ・ 焼却炉建家 (屋内面)

$$\text{劣化外力係数 } \alpha = \sqrt{C / C_0} = 1.27 \rightarrow 1.3$$

$C_0$  : 屋外二酸化炭素濃度データの最低値 (300ppm)

C : 焼却炉建家 (屋内面) における二酸化炭素濃度の実測値 (485ppm)

: 中性化深さの推定に必要なパラメータ

: 推定結果

2. 森永式

	外部遮断壁 (屋内面)	焼却炉建家 (屋内面)	海水ビット (気中層)	備考
	屋内仕上げ無	屋内仕上げ無	屋外仕上げ無	
W/C: 水セメント比 (%)	55.0	55.0	50.0	
R: 仕上げ材の中性化比率	1.0	1.0	1.0	打ち放し仕上げ: 1.0
C: 二酸化炭素濃度 (%)	0.049	0.053	0.040	外部遮断壁: 実測値 焼却炉建家: 実測値 海水ビット: 実測値
T: 温度 (°C)	36.4	21.9	16.9	外部遮断壁: 実測値 焼却炉建家: 実測値 海水ビット: 発電所構内の温度の観測値 (2022年2月~2023年1月の12カ月平均)
RH: 湿度 (%)	26.9	54.4	79.2	外部遮断壁: 実測値 焼却炉建家: 実測値 海水ビット: 発電所構内の湿度の観測値 (2022年2月~2023年1月の12カ月平均)
調査時点の推定値 (cm) (経過年数)	3.2 (26年)	2.2 (38年)	0.5 (26年)	
運転開始後60年経過 時点の推定値 (cm)	4.8	3.0 (72年)	0.8	

$$\text{森永式 } x = \sqrt{\frac{C}{5}} \cdot 2.44 \cdot R \cdot (1.391 - 0.017 \cdot RH + 0.022 \cdot T) \cdot (4.6 \cdot w/c/100 - 1.76) \cdot \sqrt{t}$$

x: 中性化深さ (mm)      C: 二酸化炭素濃度 (%)

R: 中性化比率      RH: 相対湿度 (%)

w/c: 水セメント比 (%)      T: 温度 (°C)

t: 材齢 (日)

: 中性化深さの推定に必要なパラメータ

: 推定結果

3. 実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式

	外部遮断壁 (屋内面)	焼却炉建家 (屋内面)	海水ビット (気中層)	備考
	屋内仕上げ無	屋内仕上げ無	屋外仕上げ無	
中性化深さの実測値 (cm)	0.4 (26年)	1.5 (38年)	0.3 (26年)	
運転開始後60年経過 時点の推定値 (cm)	0.6	2.1 (72年)	0.4	

$$\sqrt{t}\text{式 } x = A \cdot \sqrt{t}$$

x: 中性化深さ (mm)

t: 中性化期間 (年)

A: 中性化速度係数 (中性化深さの実測値と中性化期間により算出)

## 中性化深さの実測値の元となる測定値

中性化深さの実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式に用いる実測値は、評価点における3つの測定値を平均して算出している。

	測定値 1 (mm)	測定値 2 (mm)	測定値 3 (mm)	実測値 (平均値)
外部遮蔽壁 (屋内面)	4.8	3.6	2.4	3.6 mm ⇒0.4 cm
焼却炉建家 (屋内面)	11.7	20.0	13.4	15.0 mm ⇒1.5 cm
海水ピット (気中帯)	1.7	1.5	3.0	2.1 mm ⇒0.3 cm

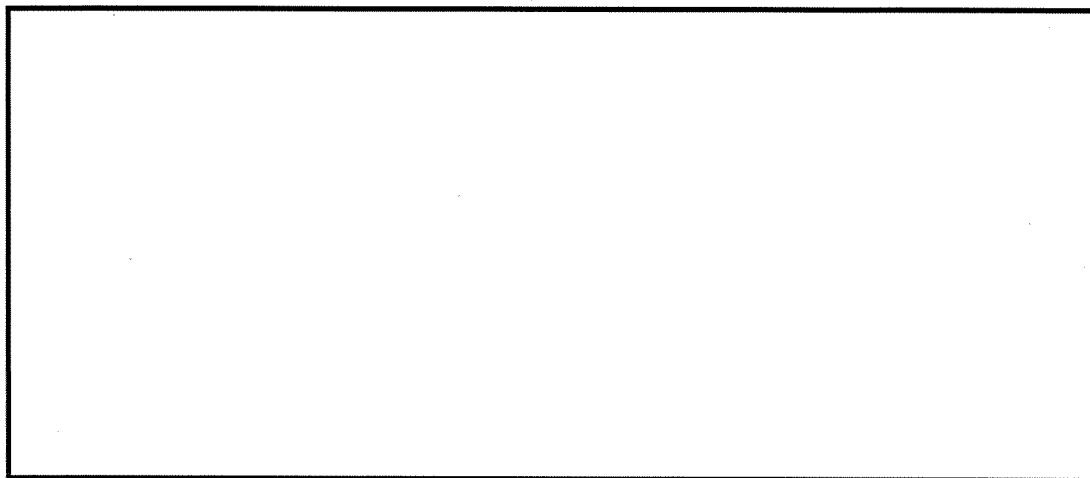
タイトル	塩分浸透における評価点の選定過程について						
説明	<p>塩分浸透における代表構造物である海水ピットの評価点の選定過程について以下に示す。</p> <p>評価点は、高経年化技術評価審査マニュアル（JNES-RE-2013-9012）に基づき、潮位により環境条件（酸素供給量、塩化物イオン供給量、乾湿繰り返し頻度）が異なる気中帯、干満帯および海中帯を選定した。</p> <p>気中帯、干満帯、海中帯の区分は、伊方発電所原子炉設置変更許可申請書にて示している朔望平均潮位に基づき、表1のとおり設定した。</p> <p style="text-align: center;">表1 朔望平均潮位に基づく、気中帯、干満帯、海中帯の区分</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">気中帯</td> <td>朔望平均満潮位(T.P.+1.62m)より上部 (飛沫の影響を受ける範囲)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">干満帯</td> <td>朔望平均満潮位(T.P.+1.62m)以下かつ朔望平均干潮位(T.P.-1.69m)より上部 (乾湿繰り返し状態となる範囲)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">海中帯</td> <td>朔望平均干潮位(T.P.-1.69m)以下 (海水に常時接している範囲)</td> </tr> </table>	気中帯	朔望平均満潮位(T.P.+1.62m)より上部 (飛沫の影響を受ける範囲)	干満帯	朔望平均満潮位(T.P.+1.62m)以下かつ朔望平均干潮位(T.P.-1.69m)より上部 (乾湿繰り返し状態となる範囲)	海中帯	朔望平均干潮位(T.P.-1.69m)以下 (海水に常時接している範囲)
気中帯	朔望平均満潮位(T.P.+1.62m)より上部 (飛沫の影響を受ける範囲)						
干満帯	朔望平均満潮位(T.P.+1.62m)以下かつ朔望平均干潮位(T.P.-1.69m)より上部 (乾湿繰り返し状態となる範囲)						
海中帯	朔望平均干潮位(T.P.-1.69m)以下 (海水に常時接している範囲)						

タイトル	塩分浸透の評価に用いた塩化物イオン濃度の測定位置、測定方法、測定結果について
説明	<p>塩分浸透の評価に用いた塩化物イオン濃度の測定位置、測定方法、測定結果を以下に示す。</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 測定位置 塩化物イオン濃度の測定位置を添付 1 「塩化物イオン濃度の測定位置図」に示す。</li><li>2. 測定方法 塩化物イオン濃度の測定は、JIS A 1154 「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオン濃度の試験方法」に基づき実施した。</li><li>3. 測定結果 塩化物イオン濃度の測定結果を添付 2 「塩化物イオン濃度の測定結果」に示す。</li></ol> <p>添付 1 塩化物イオン濃度の測定位置図 添付 2 塩化物イオン濃度の測定結果</p>

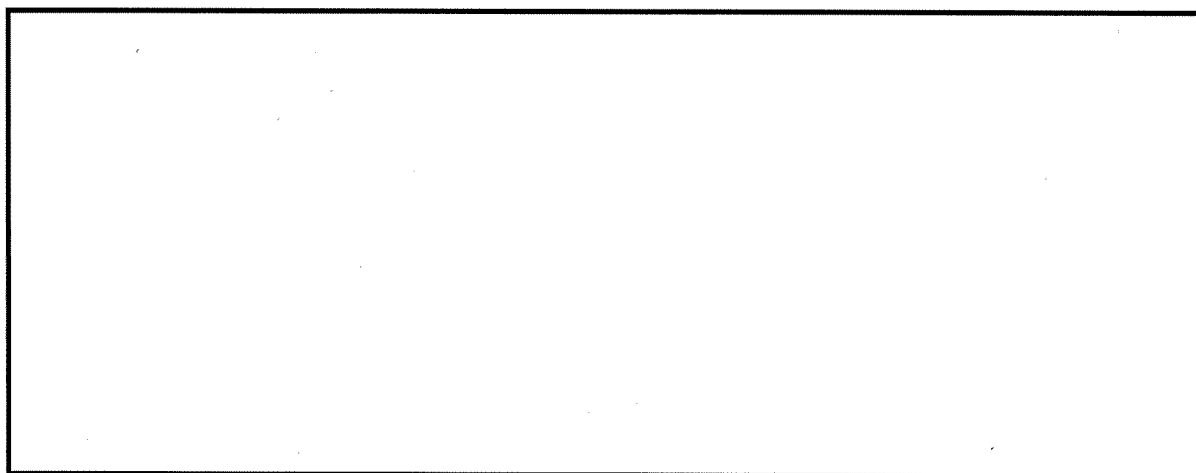
塩化物イオン濃度の測定位置図

凡例

▼：塩化物イオン濃度測定位置 [実施時期]



海水ピット（平面図）



海水ピット（断面図）



塩化物イオン濃度の測定結果

評価点ごとの塩化物イオン濃度の測定結果

評価点	試料	実施時期 (年)	部位	塩化物イオン濃度										
				コンクリート表面からの深さ										
				0~2 cm	2~4 cm	4~6 cm	6~8 cm	8~10 cm	10~12 cm	12~14 cm	14~16 cm			
気中帯	No. 1	2021	壁面	%	0.096	0.093	0.014	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
	kg/m <sup>3</sup>			2.352	2.279	0.343	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196	
	%			0.239	0.197	0.015	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	
	kg/m <sup>3</sup>			5.856	4.827	0.368	0.172	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196	0.172	
干満帯	No. 1	2021	壁面	%	0.110	0.023	0.007	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.008	
	kg/m <sup>3</sup>			2.695	0.564	0.172	0.196	0.172	0.172	0.172	0.172	0.196		
	%			0.148	0.104	0.012	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	
	kg/m <sup>3</sup>			3.626	2.548	0.294	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196	
海中帯	No. 1	2021	壁面	%	0.015	0.008	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	
	kg/m <sup>3</sup>			0.375	0.200	0.150	0.150	0.175	0.175	0.175	0.150	0.150		
	%			0.010	0.007	0.007	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
	kg/m <sup>3</sup>			0.250	0.175	0.175	0.150	0.175	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	
海中帯	No. 1	2021	壁面	%	0.017	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	
	kg/m <sup>3</sup>			0.425	0.175	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.175		
	%			0.021	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006		
	kg/m <sup>3</sup>			0.533	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.152		
海中帯	No. 2	2021	壁面	%	0.024	0.007	0.006	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	
	kg/m <sup>3</sup>			0.610	0.178	0.152	0.203	0.203	0.178	0.178	0.178	0.178		
	%			0.018	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.008		
	kg/m <sup>3</sup>			0.457	0.203	0.203	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.203		
海中帯	平均値			%	0.021	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007		
	kg/m <sup>3</sup>	0.533	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178			

：鉄筋位置付近の塩化物イオン濃度

タイトル	塩分浸透の評価に用いた鉄筋腐食減量の算定過程および結果について
説明	<p>海水ピットにおける塩分浸透の評価では、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量に対し、運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量が下回ることにより健全性を確認している。これらの鉄筋腐食減量の算定過程および結果を以下に示す。</p> <p>1. 運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量<math>Q_{60}</math>の算定過程および結果  評価点ごとの運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量<math>Q_{60}</math>は、以下の手順により算定した。</p> <p>(1) 塩化物イオン濃度の測定結果を用いて、拡散方程式の解を回帰  (2) 拡散方程式の解を用いて、運転開始後60年経過時点までの鉄筋位置における塩化物イオン濃度<math>C_d</math>を算定  (3) 森永式と運転開始後60年経過時点までの鉄筋位置の塩化物イオン濃度<math>C_d</math>を用いて、運転開始後60年経過時点までに累積する鉄筋腐食減量<math>Q_{60}</math>を算定</p> <p>具体的な算定過程および結果を以下に示す。</p> <p>(1) 拡散方程式の解の回帰  コンクリート中への塩分浸透は、時間的に変化する塩化物イオン濃度分布の拡散現象である。本現象は拡散方程式に基づくため、拡散方程式の解(式1)を用いて回帰分析を実施した。</p> <p>拡散方程式の解</p> $C(x,t) = C_i + C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right\} \quad \dots \quad (\text{式1})$ <p><math>C(x,t)</math>: コンクリート表面からの距離<math>x</math>における材齢<math>t</math>での塩化物イオン濃度 (%)  <math>C_i</math>: 初期含有塩化物イオン濃度 (%)  <math>C_0</math>: コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (%)  <math>\operatorname{erf}</math>: 誤差関数</p> $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ <p><math>x</math>: かぶり厚さ (cm)  <math>D</math>: コンクリートの見かけの拡散係数 (<math>\text{cm}^2/\text{s}</math>)  <math>t</math>: 材齢 (s)</p>

回帰分析に用いた測定結果を表1に示す。また、土木学会規準「実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法(案)(JSCE-G 573-2018)」(以下、「土木学会規準(案)」と言う。)を参考に、以下のように測定結果を取り扱った。

- ・初期含有塩化物イオン濃度 $C_i$ は、原則、構造物表面からの塩分浸透の影響を受けていないと考えられるコア最深部の測定結果とする<sup>※1</sup>  
ただし、最深部より小さい測定結果がある場合は、小さい測定結果の方を初期含有塩化物イオン濃度 $C_i$ として扱う
- ・中性化などの影響を考慮し、コンクリート表面に近い領域(0~2cm)の測定結果を用いる場合と用いない場合の双方を検討する<sup>※2</sup>

以上の測定結果を用いて、コンクリート表面の塩化物イオン濃度 $C_0$ と見かけの拡散係数 $D$ を回帰係数として回帰した。

運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ が最大となったケースの回帰結果を図1に、全ケースの回帰結果を添付1に示す。

※1 初期含有塩化物イオン濃度 $C_i$ の設定について、土木学会基準(案)の以下の記載を参考とした。

「初期含有全塩化物イオン濃度が不明な場合には、十分に深く構造物表面からの塩分浸透の影響を受けていないと考えられる位置から採取された試料の全塩化物イオン濃度で代用する。」

※2 中性化などの影響がある領域の取り扱いについては、土木学会基準(案)に以下の通り記載されており、検討ケースの参考とした。

「(前略)中性化した領域およびそこから10mm以内の深部で採取された試料から得られた結果は、回帰分析を行う際には用いないほうがよい。全く中性化が生じていない場合においても、構造物表面から深さ10mm以内で採取された試料から得られた結果は、回帰分析を行う際には用いないほうがよい。(後略)」

表1 塩化物イオン濃度の測定結果

評価点	試料	塩化物イオン濃度								
		コンクリート表面からの深さ								
		0~2 cm	2~4 cm	4~6 cm	6~8 cm	8~10 cm	10~12 cm	12~14 cm	14~16 cm	
気中帯	No. 1	%	0.096	0.093	0.014	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
		kg/m <sup>3</sup>	2.352	2.279	0.343	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196
	No. 2	%	0.239	0.197	0.015	0.007	0.008	0.008	0.008	0.007
		kg/m <sup>3</sup>	5.856	4.827	0.368	0.172	0.196	0.196	0.196	0.172
	No. 3	%	0.110	0.023	0.007	0.008	0.007	0.007	0.007	0.008
		kg/m <sup>3</sup>	2.695	0.564	0.172	0.196	0.172	0.172	0.172	0.196
	平均値	%	0.148	0.104	0.012	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
		kg/m <sup>3</sup>	3.626	2.548	0.294	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196
干満帯	No. 1	%	0.015	0.008	0.006	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006
		kg/m <sup>3</sup>	0.375	0.200	0.150	0.150	0.175	0.175	0.150	0.150
	No. 2	%	0.010	0.007	0.007	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006
		kg/m <sup>3</sup>	0.250	0.175	0.175	0.150	0.175	0.150	0.150	0.150
	No. 3	%	0.017	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007
		kg/m <sup>3</sup>	0.425	0.175	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.175
	平均値	%	0.014	0.007	0.006	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006
		kg/m <sup>3</sup>	0.350	0.175	0.150	0.150	0.175	0.150	0.150	0.150
海中帯	No. 1	%	0.021	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006
		kg/m <sup>3</sup>	0.533	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.152
	No. 2	%	0.024	0.007	0.006	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007
		kg/m <sup>3</sup>	0.610	0.178	0.152	0.203	0.203	0.178	0.178	0.178
	No. 3	%	0.018	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.008	0.008
		kg/m <sup>3</sup>	0.457	0.203	0.203	0.178	0.178	0.178	0.203	0.203
	平均値	%	0.021	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
		kg/m <sup>3</sup>	0.533	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178

赤字：中性化などの影響が考えられる測定結果

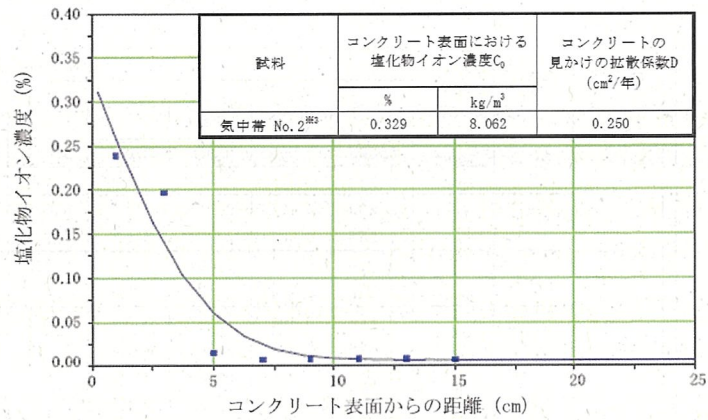


図 1-1 気中帯での拡散方程式の解の回帰結果 ( $Q_{60}$ 最大のケース)

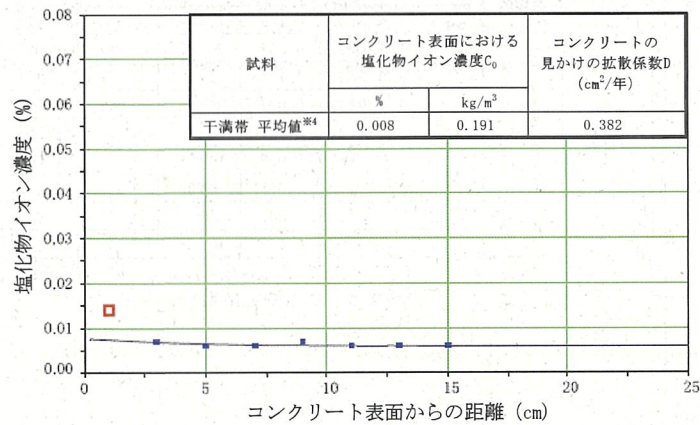


図 1-2 干満帯での拡散方程式の解の回帰結果 ( $Q_{60}$ 最大のケース)  
(□: 回帰分析に用いない測定結果)

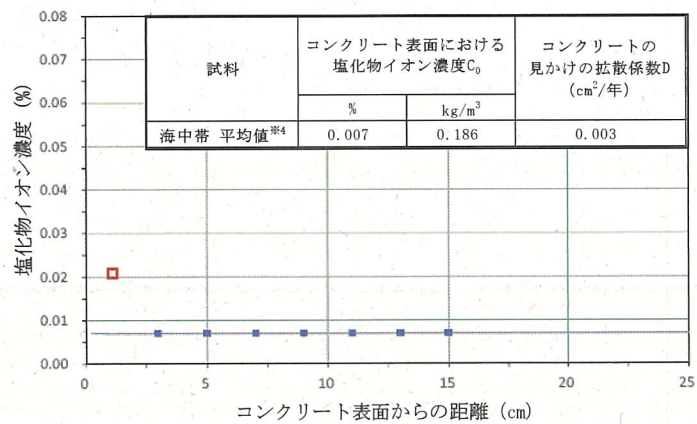


図 1-3 海中帯<sup>※5</sup>での拡散方程式の解の回帰結果 ( $Q_{60}$ 最大のケース)  
(□: 回帰分析に用いない測定結果)

	<p>※3 コンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の測定結果を用いる場合</p> <p>※4 中性化などの影響を考慮し、コンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の測定結果を用いない場合</p> <p>※5 海中帯については全8ケースで<math>Q_{60}</math>が0となった。そこで、代表として「中性化などの影響を考慮しコンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の測定結果を用いない場合」における3本のコアの平均値を用いた回帰結果を示している</p>
--	--

(2) 運転開始後60年経過時点までの鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ の算定

鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ は、回帰した拡散方程式の解により経過年ごとに算定し、運転開始後60年経過時点まで求めた。

運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ が最大となったケースの算定結果を表2に、全ケースの算定結果を添付2に示す。

表2 運転開始後60年経過時点までの鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ の算定結果 ( $Q_{60}$ 最大のケース)

評価点	試料	鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
気中帯	No. 2 <sup>※6</sup>	0.172~1.107
干満帯	平均値 <sup>※7</sup>	0.150~0.153
海中帯	平均値 <sup>※7、※8</sup>	0.178

※6 コンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の測定結果を用いる場合

※7 中性化などの影響を考慮し、コンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の測定結果を用いない場合

※8 海中帯については全8ケースで $Q_{60}$ が0となった。そこで、代表として「中性化などの影響を考慮しコンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の測定結果を用いない場合」における3本のコアの平均値を用いた算定結果を示している

(3) 運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ の算定

運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ は、以下の手順で算定した。

- ・経過年ごとに、鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ を森永式(式2)に与え鉄筋腐食速度 $q$ を算定し、経過年ごとの鉄筋腐食減量を算出
- ・経過年ごとの鉄筋腐食減量を運転開始後60年経過時点まで累積することで $Q_{60}$ を算定

最大となったケースのパラメータと算定結果を表3に、全ケースの算定結果を添付3に示す。

森永式

$$q = q_1 \frac{q_2}{q_2'} \quad \dots \quad (\text{式2})$$

$$q_1 = \frac{d}{c^2} \left\{ -0.51 - 7.60N + 44.97(W/C)^2 + 67.95N(W/C)^2 \right\}$$

$$q_2 = 2.59 - 0.05T - 6.89H - 22.87O - 0.99N + 0.14TH \\ + 0.51TO + 0.01TN + 60.81HO + 3.36HN + 7.32ON$$

$$q_2' = 0.56528 + 1.4304N$$

$q$ : 鉄筋腐食速度 ( $10^{-4}$ g/cm<sup>2</sup>/年)

$q_1$ : 塩分環境下での鉄筋腐食速度 ( $10^{-4}$ g/cm<sup>2</sup>/年)

$q_2$ : 寿命予測対象部位における塩分環境下での鉄筋腐食速度 ( $10^{-4}$ g/cm<sup>2</sup>/年)

$q_2'$ : 寿命予測対象部位における標準環境下(温度15℃、湿度69%、酸素濃度20%)での鉄筋腐食速度 ( $10^{-4}$ g/cm<sup>2</sup>/年)

$c$ : かぶり厚さ (mm)

$d$ : 鉄筋径 (mm)

$W/C$ : 水セメント比 (%/100)

$T$ : 温度 (℃)

$H$ : 湿度に関する項 [ $H=(RH-45)/100$ ]

$RH$ : 相対湿度 (%)

$O$ : 酸素濃度 (%/100)

$N$ : 練り混ぜ水の塩分濃度 (%)

[ $1.648 \times$ 鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$  (kg/m<sup>3</sup>) /  $W \times 100$ ]

$W$ : 単位水量 (kg/m<sup>3</sup>)



表3 運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ の算定に使用したパラメータと算定結果（最大のケース）

	評価点			備考
	気中帯(No.2) <sup>※9</sup>	干満帯(平均値) <sup>※10</sup>	海中帯(平均値) <sup>※10, 11</sup>	
かぶり厚さc (mm)	85.5	125.5	125.5	
鉄筋径d (mm)	29	29	29	
単位水量 $\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	170	170	170	
水セメント比W/C (%)	50.0	50.0	50.0	
温度T (°C)	16.9	18.7	18.7	気中帯：発電所構内の温度の観測値 (2022年2月～2023年1月の12カ月平均) 干満帯、海中帯：発電所構内の海水温度の 観測値 (2022年2月～2023年1月の12カ月平均)
相対湿度RH (%)	79.2	100	100	気中帯：発電所構内の温度の観測値 (2022年2月～2023年1月の12カ月平均) 海中帯：海水との接触により100%とする 干満帯：乾湿繰り返し状態となるため、相対湿度が 気中帯よりも高くなると想定し、海中帯と同様の 100%とする
酸素濃度O (%)	21	21	0.6	気中帯：理科年表 海中帯：森永氏の鉄筋腐食に関する研究論文引用 干満帯：乾湿繰り返し状態となるため、酸素濃度が 海中帯よりも高くなると想定し、気中帯と同様の21% とする
練り混ぜ水の塩分濃度N (%)	0.167～1.073	0.145～0.148	0.173	運転開始後60年経過時点までの各年の推定値
運転開始後60年経過時点の鉄筋 腐食減量 $Q_{60}$ (10 <sup>-4</sup> g/cm <sup>2</sup> )	7.3	6.7	0.0	

※9 コンクリート表面に近い領域（0～2cm）の測定結果を用いる場合

※10 中性化などの影響を考慮し、コンクリート表面に近い領域（0～2cm）の測定結果を用いない場合

※11 海中帯については全8ケースで $Q_{60}$ が0となった。そこで、代表として「中性化などの影響を考慮しコンクリート表面に近い領域（0～2cm）の測定結果を用いない場合」における3本のコアの平均値を用いた算定結果を示している

2. かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量 $Q_{CR}$ の算定過程および結果

かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量 $Q_{CR}$ は、以下の森永式（式3）を用いて算定した。パラメータと算定結果を表4に示す。

森永式

$$Q_{CR} = 0.602 \left(1 + \frac{2c}{d}\right)^{0.85} d \quad \dots \text{ (式3)}$$

$Q_{CR}$ : かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量  
( $10^{-4}\text{g/cm}^2$ )

$c$ : かぶり厚さ (mm)

$d$ : 鉄筋径 (mm)

表4 かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量 $Q_{CR}$ の算定に使用したパラメータと算定結果

	評価点		
	気中帯	干満帯	海中帯
かぶり厚さ $c$ (mm)	85.5	125.5	125.5
鉄筋径 $d$ (mm)	29	29	29
かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋の腐食減量 $Q_{CR}$ ( $10^{-4}\text{g/cm}^2$ )	90.1	120.0	120.0

3. 運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ とかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量 $Q_{CR}$ の比較結果  
 運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ とかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量 $Q_{CR}$ の比較結果を表5に示す。また、参考として、調査時点(26年経過時点)、運転開始後60年経過時点およびかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点のそれぞれ前後5年の鉄筋腐食減量の算定結果を添付4に示す。  
 かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量 $Q_{CR}$ に対し、運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ が下回っていることを確認した。

表5 運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ とかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量 $Q_{CR}$ の比較結果

評価点	運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ ( $10^{-4}g/cm^2$ )	かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量 $Q_{CR}$ ( $10^{-4}g/cm^2$ )
気中帯	7.3 (森永式)	90.1 (森永式)
干満帯	6.7 (森永式)	120.0 (森永式)
海中帯	0.0 (森永式)	120.0 (森永式)

添付1 拡散方程式の解の回帰結果

添付2 運転開始後60年経過時点までの鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ の算定結果

添付3 運転開始後60年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ の算定結果

添付4 調査時点(26年経過時点)、運転開始後60年経過時点およびかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点のそれぞれ前後5年の鉄筋腐食減量の算定結果

## 拡散方程式の解の回帰結果

以下の各ケースにおける拡散方程式の解の回帰結果を示す。

表 6 拡散方程式の解の回帰ケース

評価点	コンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の取り扱い	試料
気中帯	用いる場合	No. 1
		No. 2
		No. 3
		平均値
	中性化などの影響を考慮し、 用いない場合	No. 1
		No. 2
		No. 3
		平均値
干満帯	用いる場合	No. 1
		No. 2
		No. 3
		平均値
	中性化などの影響を考慮し、 用いない場合	No. 1
		No. 2
		No. 3
		平均値
海中帯	用いる場合	No. 1
		No. 2
		No. 3
		平均値
	中性化などの影響を考慮し、 用いない場合	No. 1
		No. 2
		No. 3
		平均値

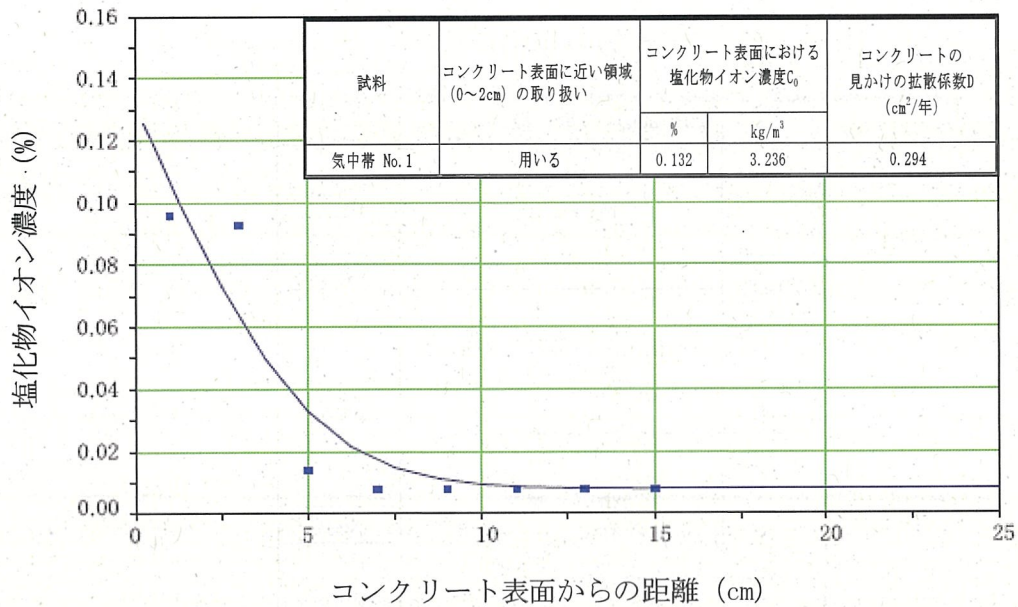


図 2-1 気中帯での拡散方程式の解の回帰結果

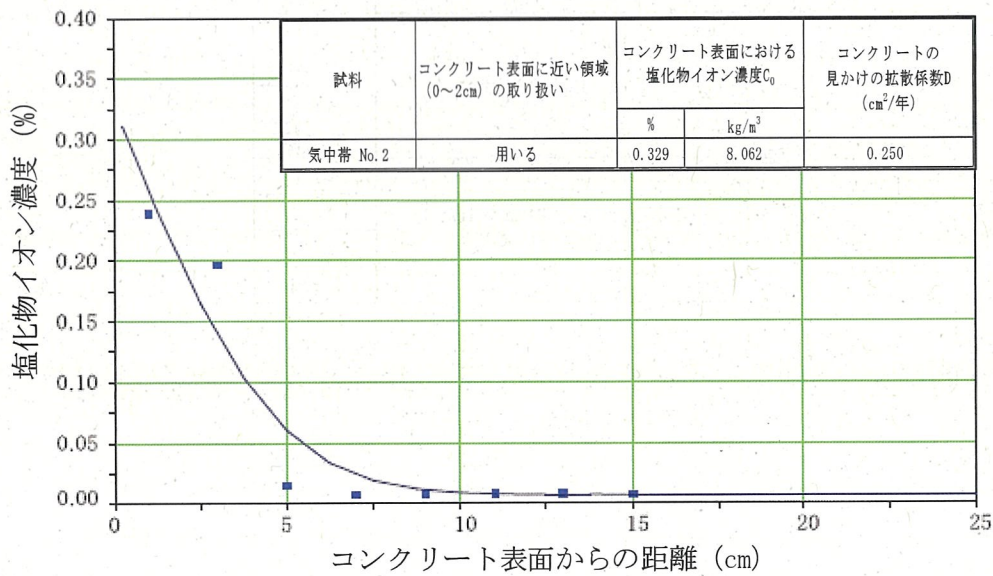


図 2-2 気中帯での拡散方程式の解の回帰結果

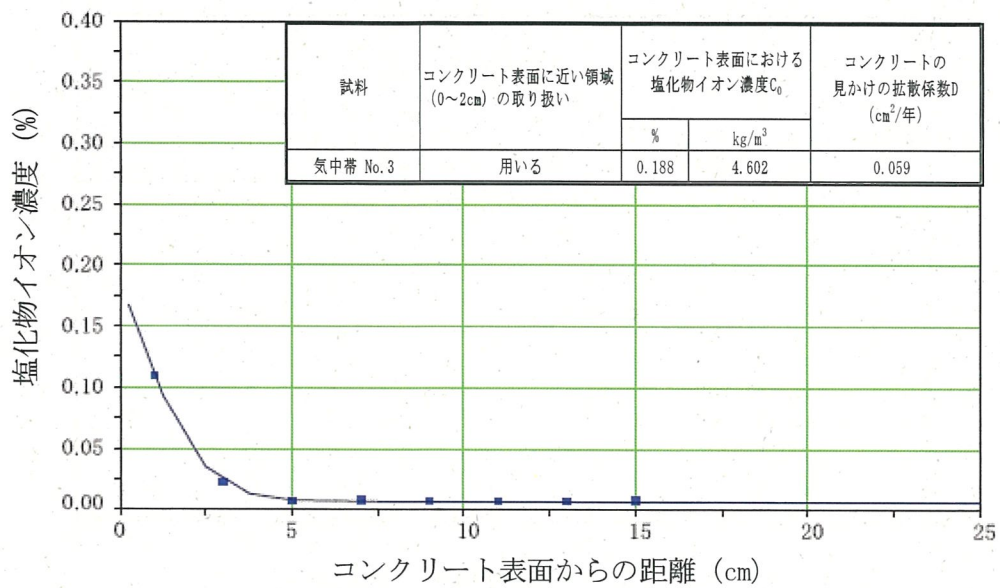


図 2-3 気中帯での拡散方程式の解の回帰結果

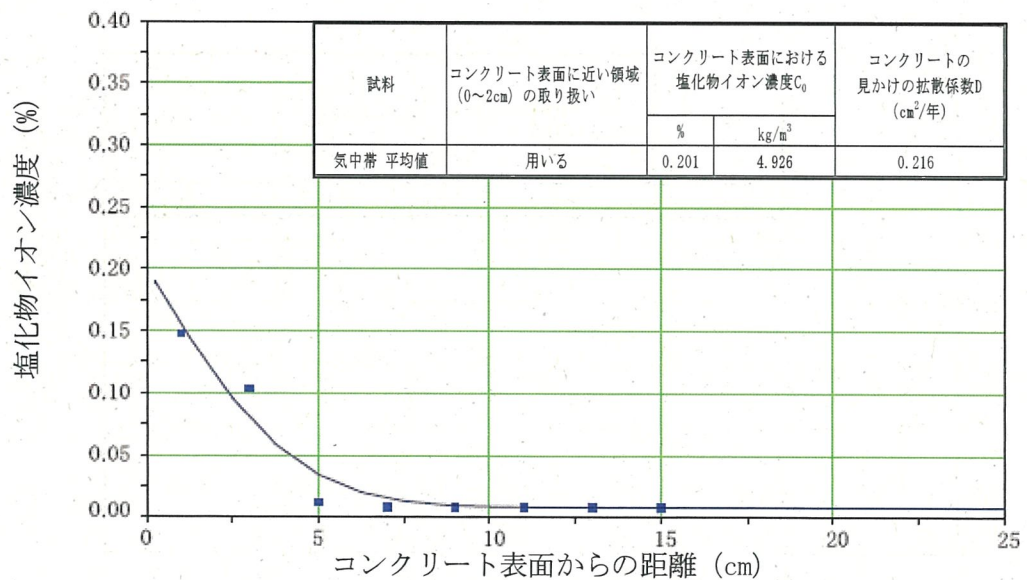


図 2-4 気中帯での拡散方程式の解の回帰結果

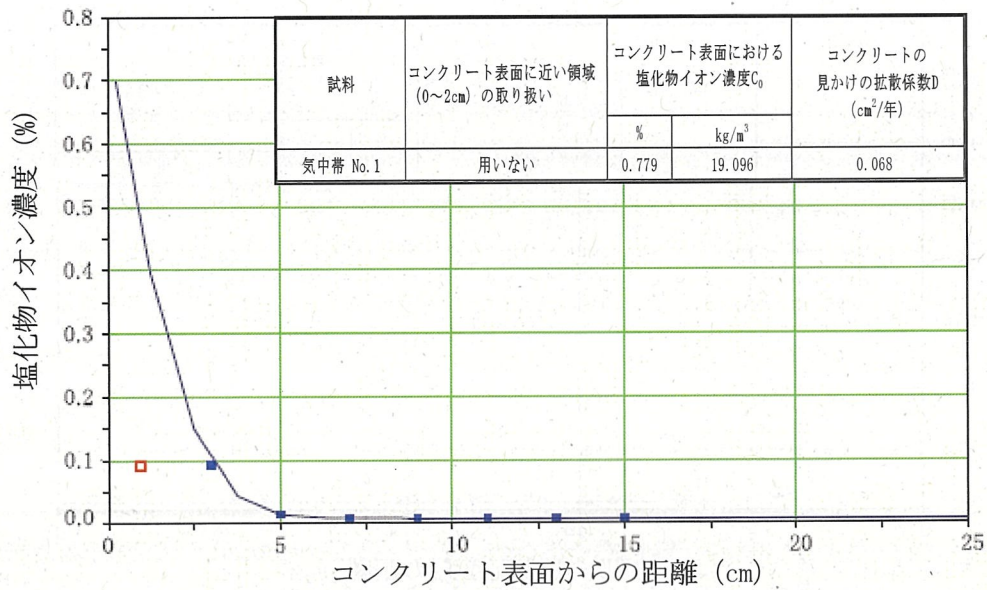


図 2-5 気中帯での拡散方程式の解の回帰結果  
(□ : 回帰分析に用いない測定結果)

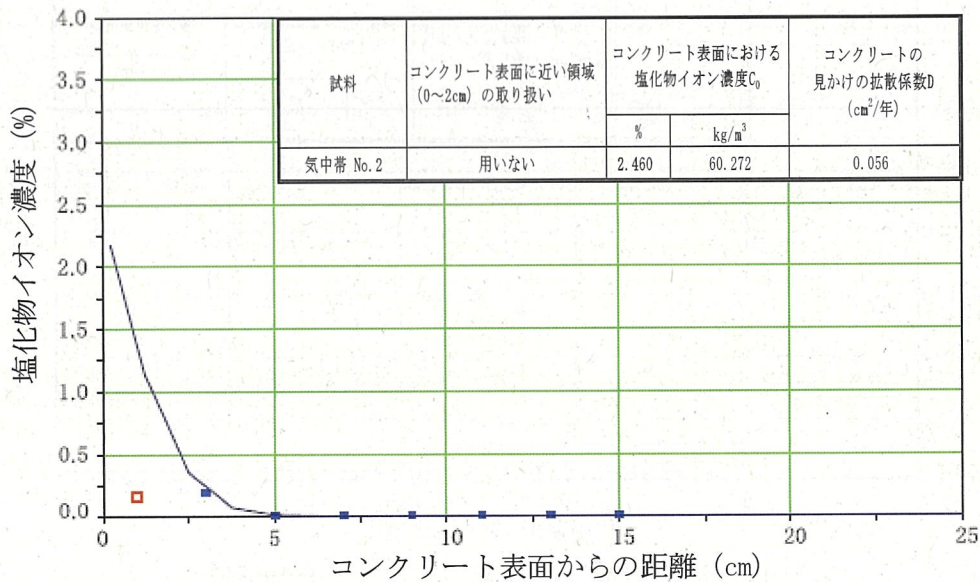


図 2-6 気中帯での拡散方程式の解の回帰結果  
(□ : 回帰分析に用いない測定結果)

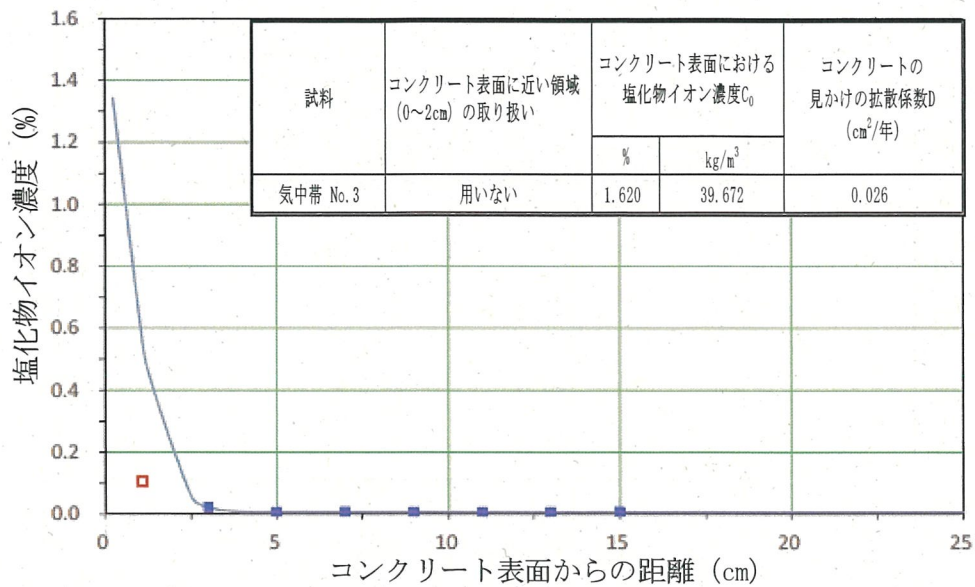


図 2-7 気中帯での拡散方程式の解の回帰結果  
(□ : 回帰分析に用いない測定結果)

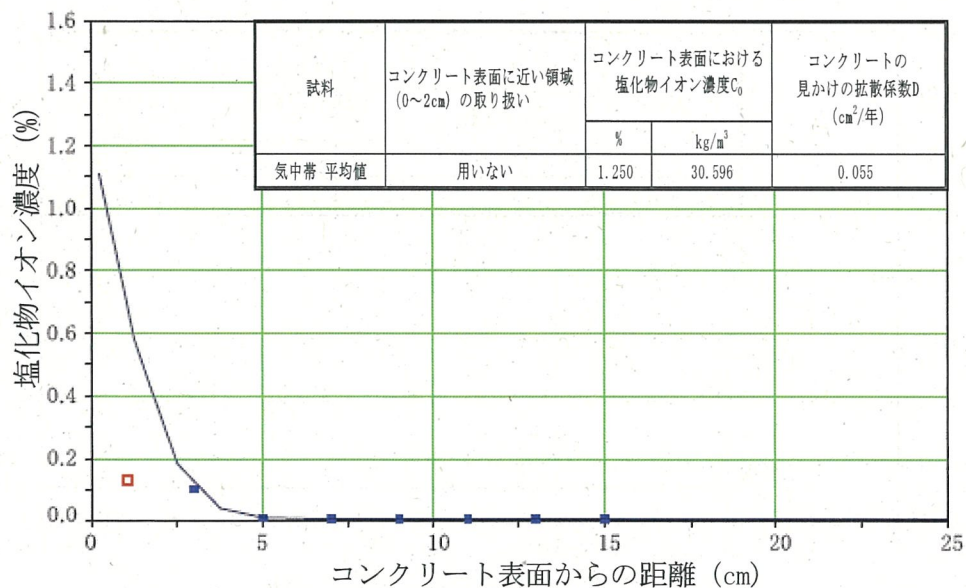


図 2-8 気中帯での拡散方程式の解の回帰結果  
(□ : 回帰分析に用いない測定結果)



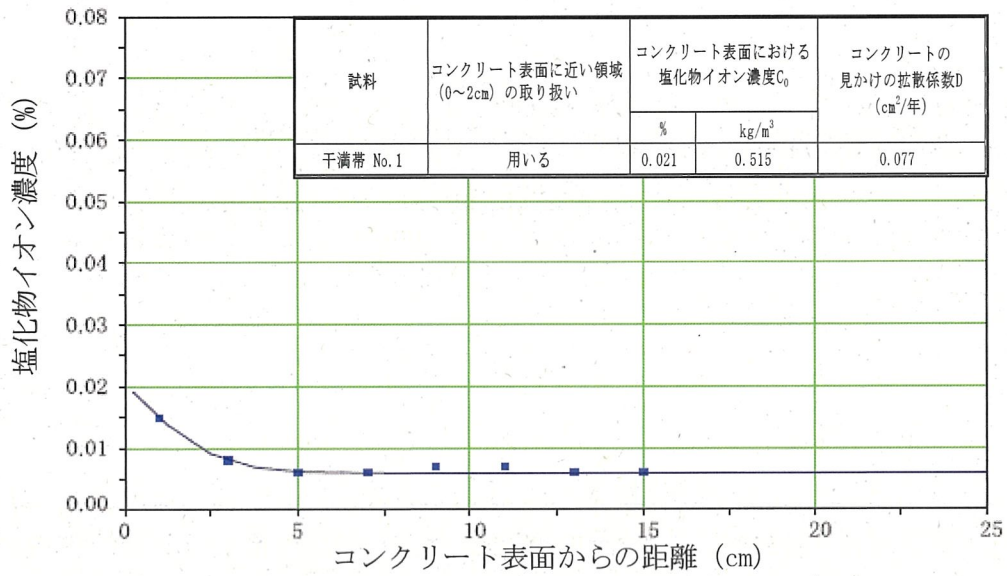


図 3-1 干満帯での拡散方程式の解の回帰結果

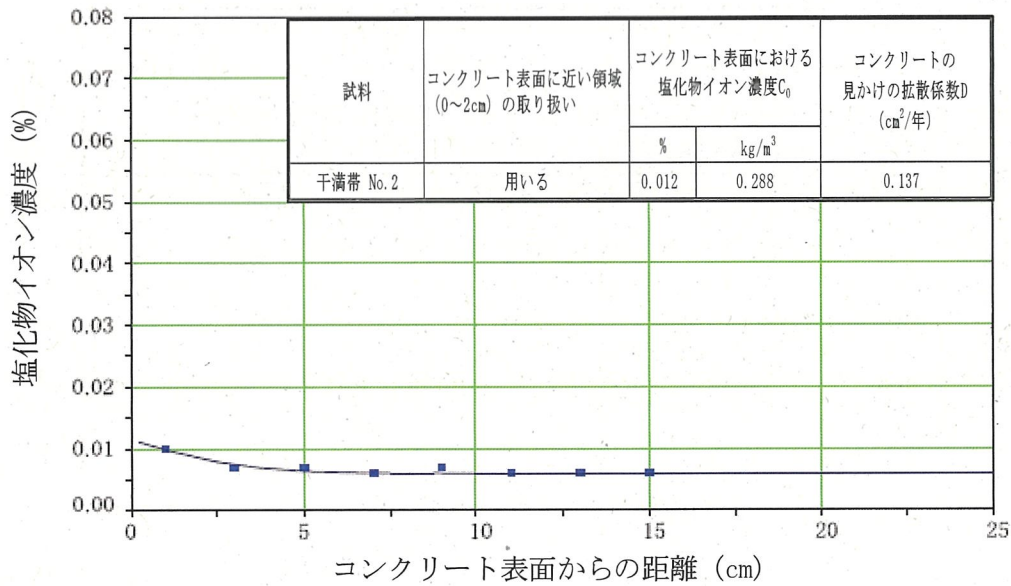


図 3-2 干満帯での拡散方程式の解の回帰結果

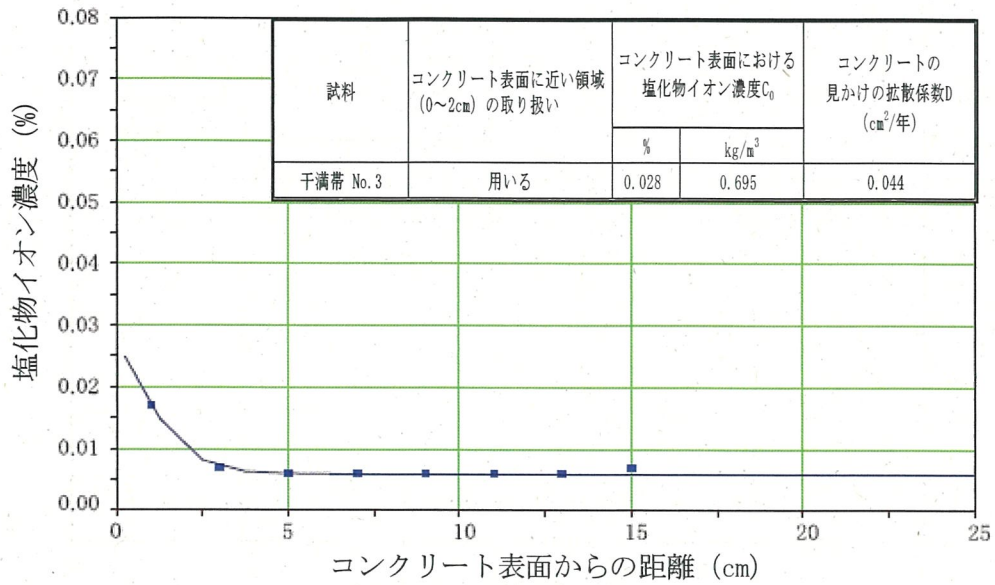


図 3-3 干満帯での拡散方程式の解の回帰結果

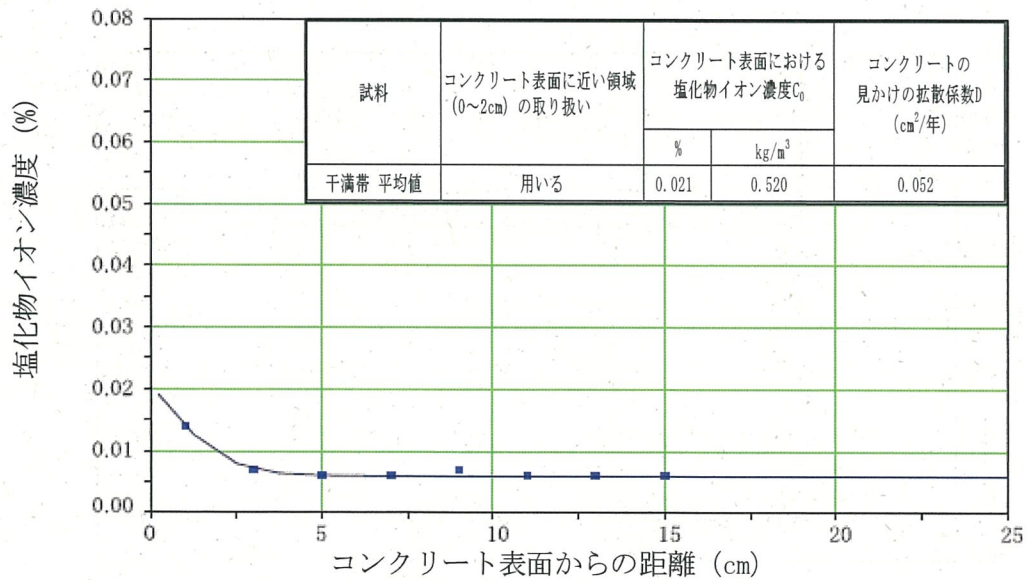


図 3-4 干満帯での拡散方程式の解の回帰結果

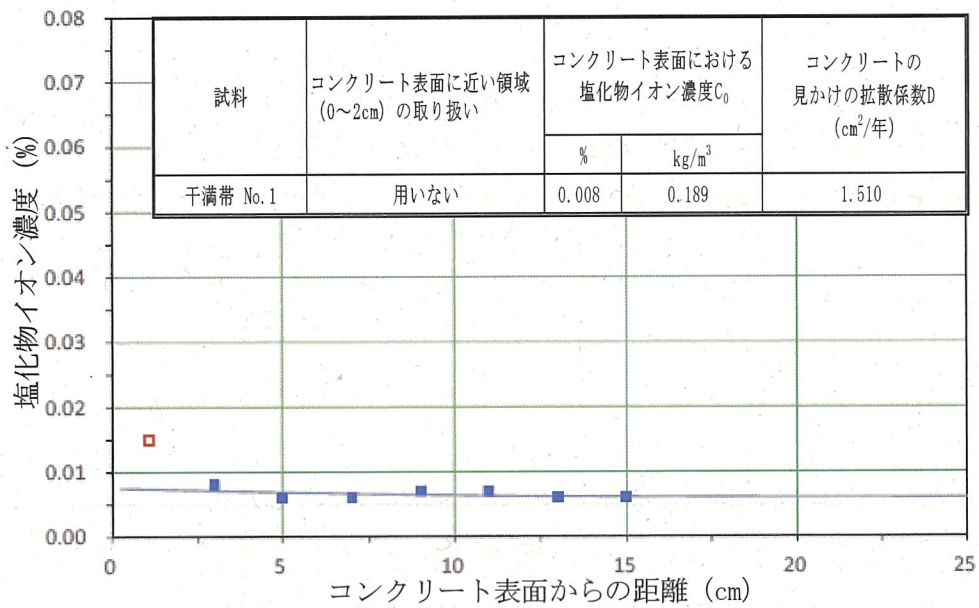


図3-5 干満帯での拡散方程式の解の回帰結果  
(□ : 回帰分析に用いない測定結果)

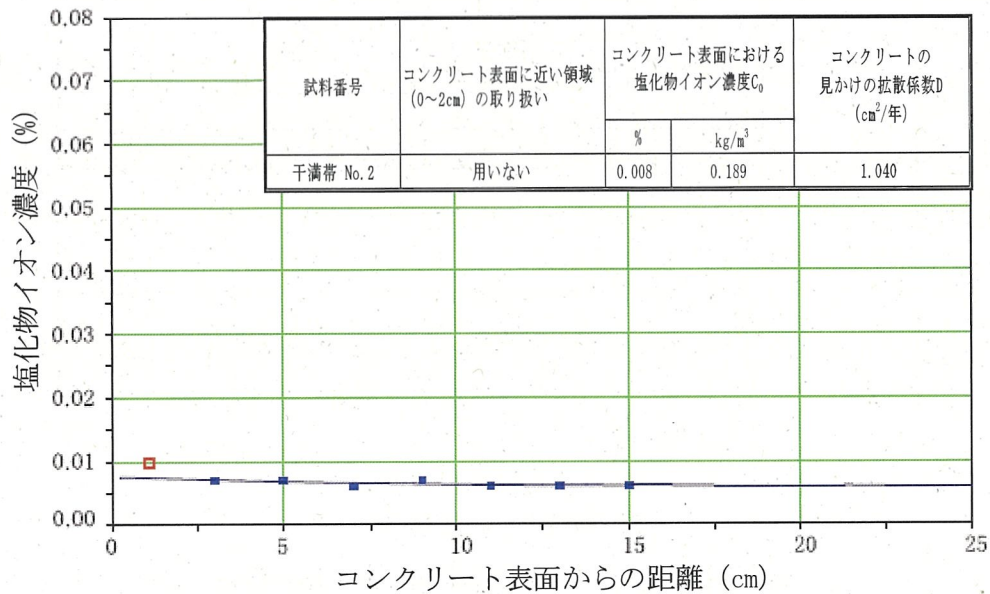


図3-6 干満帯での拡散方程式の解の回帰結果  
(□ : 回帰分析に用いない測定結果)

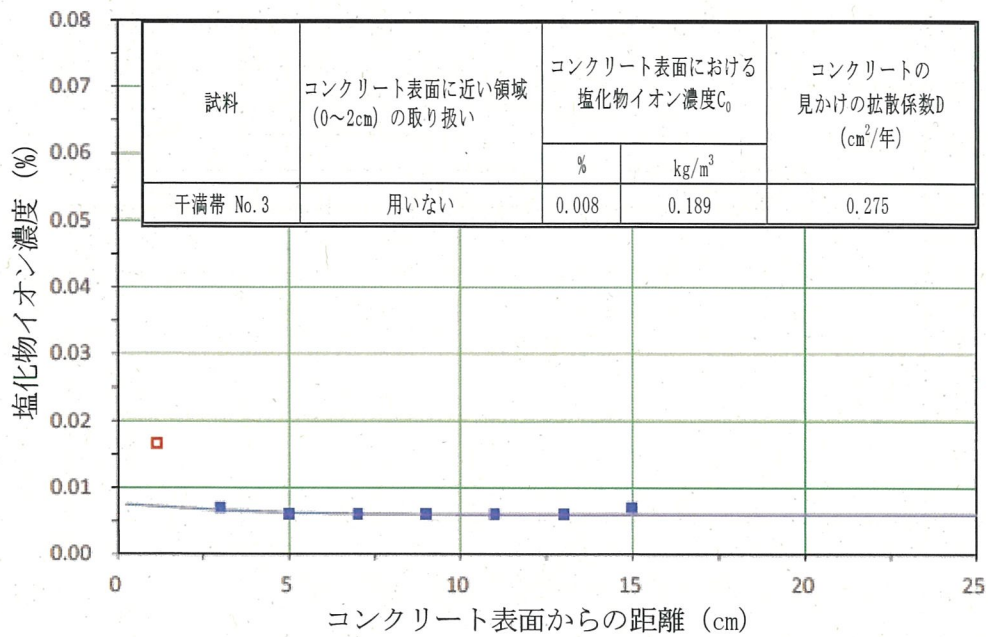


図 3-7 干満帯での拡散方程式の解の回帰結果  
(□ : 回帰分析に用いない測定結果)

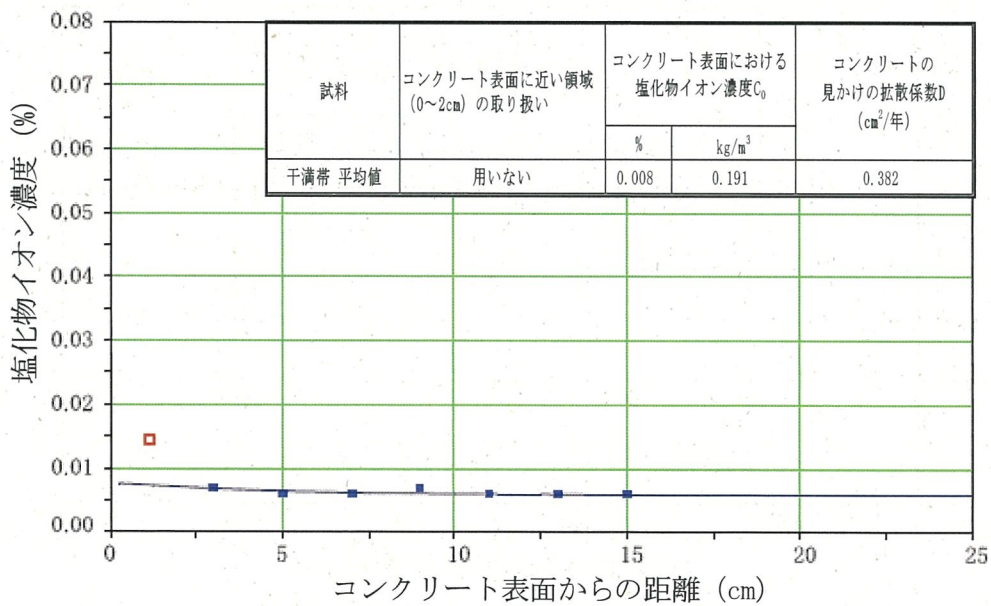


図 3-8 干満帯での拡散方程式の解の回帰結果  
(□ : 回帰分析に用いない測定結果)

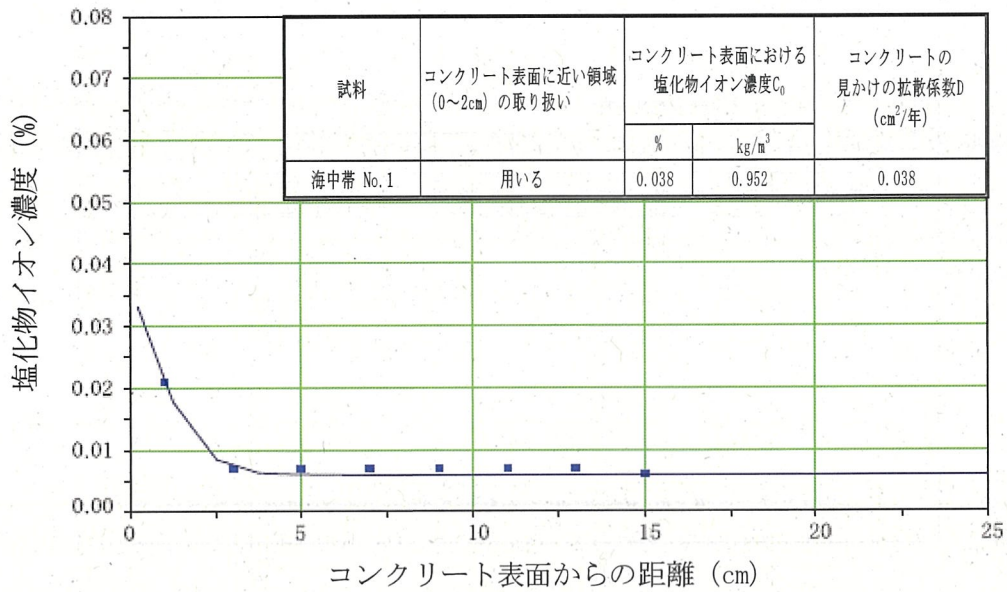


図 4-1 海中帯での拡散方程式の解の回帰結果

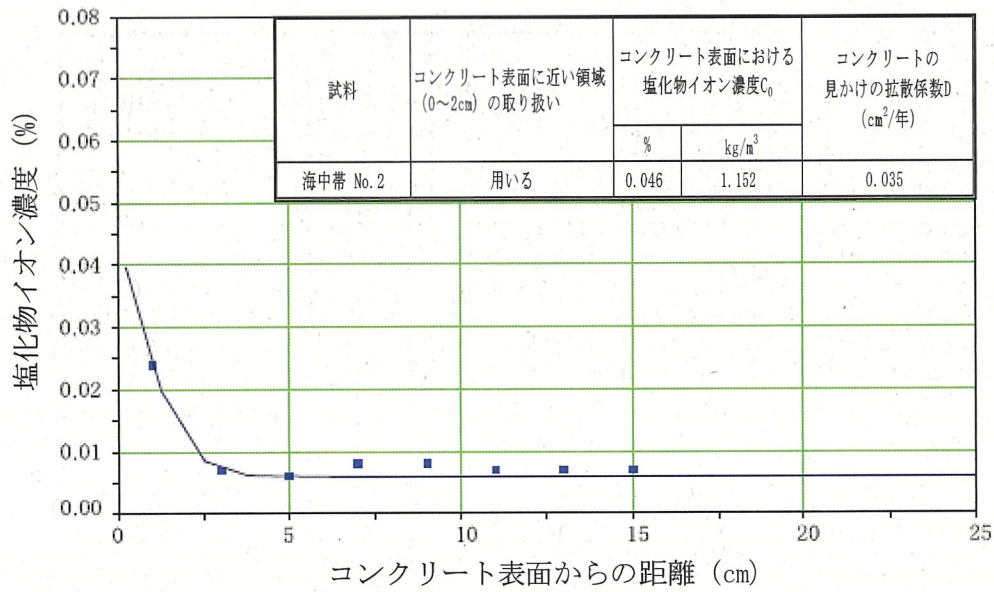


図 4-2 海中帯での拡散方程式の解の回帰結果

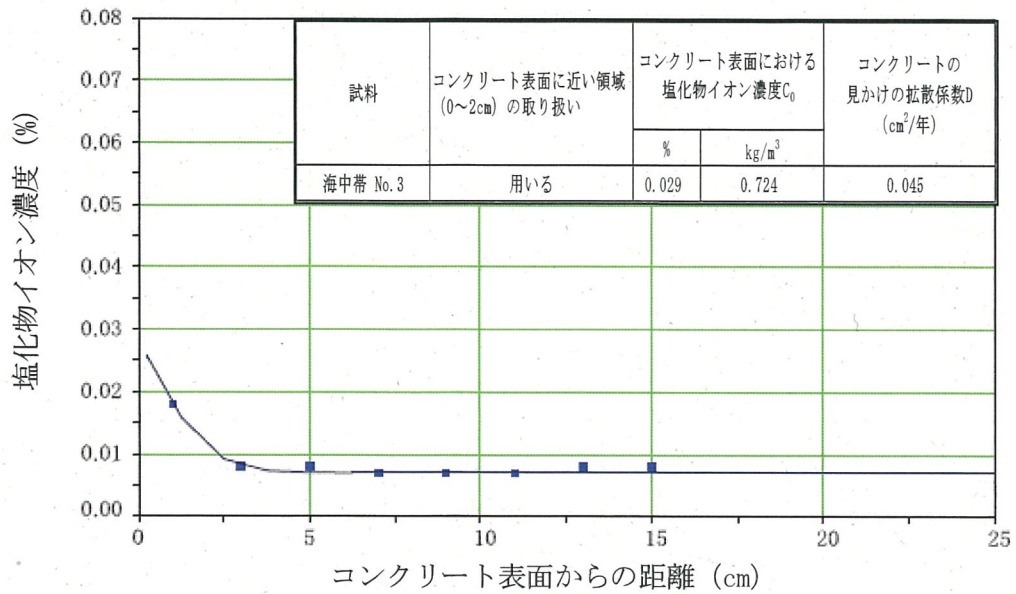


図 4-3 海中帯での拡散方程式の解の回帰結果

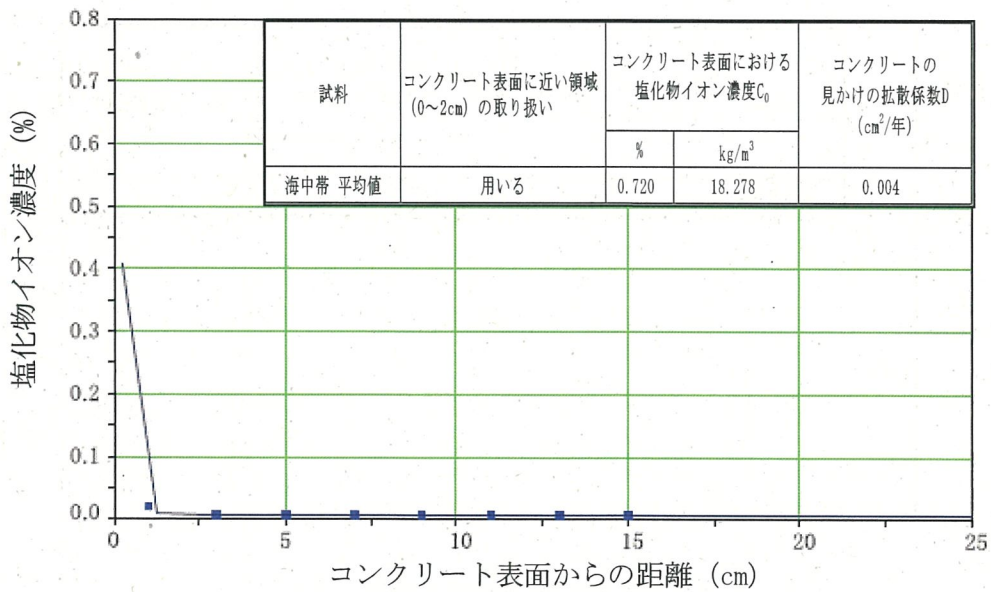


図 4-4 海中帯での拡散方程式の解の回帰結果

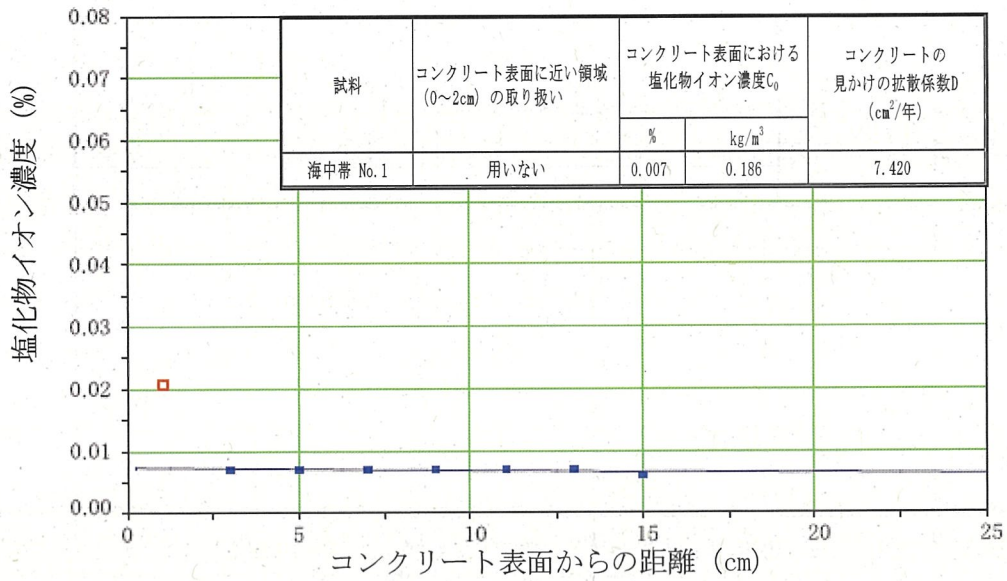


図4-5 海中帯での拡散方程式の解の回帰結果  
(□ : 回帰分析に用いない測定結果)

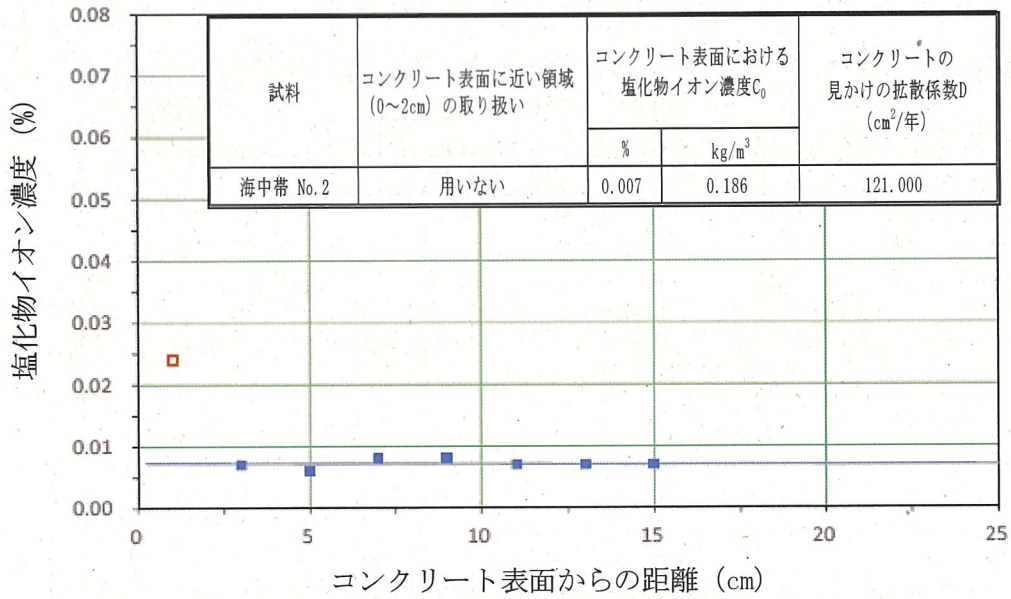


図4-6 海中帯での拡散方程式の解の回帰結果  
(□ : 回帰分析に用いない測定結果)

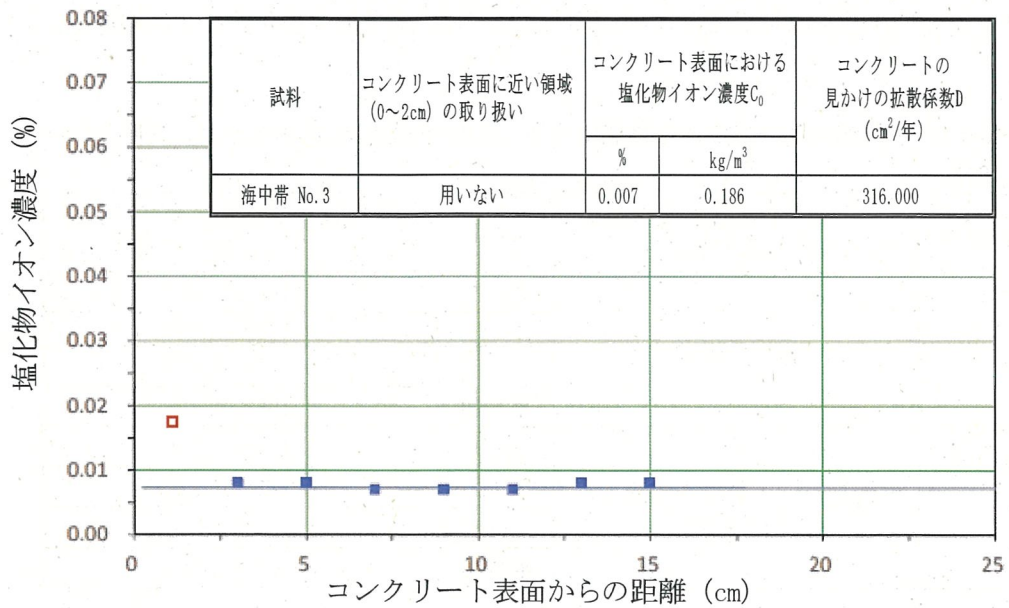


図 4-7 海中帯での拡散方程式の解の回帰結果  
(□ : 回帰分析に用いない測定結果)

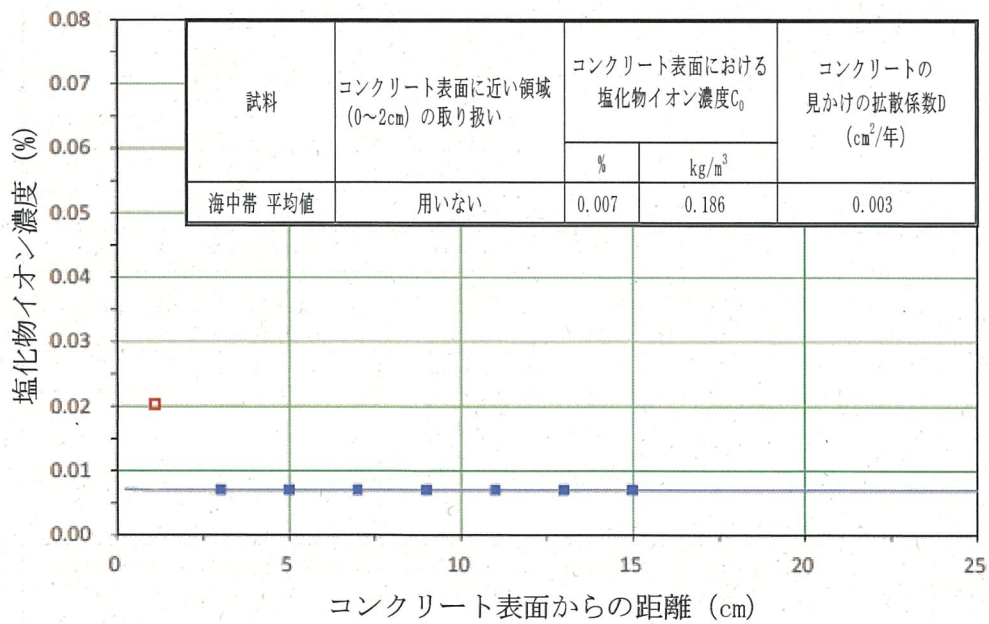


図 4-8 海中帯での拡散方程式の解の回帰結果  
(□ : 回帰分析に用いない測定結果)



運転開始後 60 年経過時点までの鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ の算定結果

各ケースにおける運転開始後 60 年経過時点までの鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ を示す。

表 7 気中帯での運転開始後 60 年経過時点までの鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ の算定結果

評価点	コンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の取り扱い	試料	鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ (kg/m <sup>3</sup> )
気中帯	用いる場合	No. 1	0.196~0.652
		No. 2	0.172~1.107
		No. 3	0.172~0.178
		平均値	0.196~0.636
	中性化などの影響を考慮し、用いない場合	No. 1	0.196~0.247
		No. 2	0.172~0.227
		No. 3	0.172
		平均値	0.196~0.223

表 8 干満帯での運転開始後 60 年経過時点までの鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ の算定結果

評価点	コンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の取り扱い	試料	鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ (kg/m <sup>3</sup> )
干満帯	用いる場合	No. 1	0.150
		No. 2	0.150
		No. 3	0.150
		平均値	0.150
	中性化などの影響を考慮し、用いない場合	No. 1	0.150~0.164
		No. 2	0.150~0.160
		No. 3	0.150~0.151
		平均値	0.150~0.153

表 9 海中帯での運転開始後 60 年経過時点までの鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ の算定結果

評価点	コンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の取り扱い	試料	鉄筋位置の塩化物イオン濃度 $C_d$ (kg/m <sup>3</sup> )
海中帯	用いる場合	No. 1	0.152
		No. 2	0.152
		No. 3	0.178
		平均値	0.178
	中性化などの影響を考慮し、用いない場合	No. 1	0.152~0.175
		No. 2	0.166~0.183
		No. 3	0.183~0.186
		平均値	0.178

運転開始後 60 年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ の算定結果

各ケースにおける運転開始後 60 年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ を示す。

表 1 0 気中帯での運転開始後 60 年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ の算定結果

評価点	コンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の取り扱い	試料	運転開始後60年経過時点の 鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ ( $10^{-4}g/cm^2$ )
気中帯	用いる場合	No. 1	7.0
		No. 2	7.3
		No. 3	6.9
		平均値	7.0
	中性化などの影響を考慮し、 用いない場合	No. 1	6.9
		No. 2	6.9
		No. 3	6.9
		平均値	6.9

7.3 :  $Q_{60}$ 最大のケース

表 1 1 干満帯での運転開始後 60 年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ の算定結果

評価点	コンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の取り扱い	試料	運転開始後60年経過時点の 鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ ( $10^{-4}g/cm^2$ )
干満帯	用いる場合	No. 1	6.7
		No. 2	6.7
		No. 3	6.7
		平均値	6.7
	中性化などの影響を考慮し、 用いない場合	No. 1	6.6
		No. 2	6.6
		No. 3	6.7
		平均値	6.7

6.7 :  $Q_{60}$ 最大のケース

表 1 2 海中帯での運転開始後 60 年経過時点の鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ の算定結果

評価点	コンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の取り扱い	試料	運転開始後60年経過時点の 鉄筋腐食減量 $Q_{60}$ ( $10^{-4}g/cm^2$ )
海中帯	用いる場合	No. 1	0.0
		No. 2	0.0
		No. 3	0.0
		平均値	0.0
	中性化などの影響を考慮し、 用いない場合	No. 1	0.0
		No. 2	0.0
		No. 3	0.0
		平均値	0.0

0.0 :  $Q_{60}$ 最大のケース (海中帯については全8ケースで $Q_{60}$ が0となった。そこで、代表として「中性化などの影響を考慮しコンクリート表面に近い領域 (0~2cm) の測定結果を用いない場合」における3本のコアの平均値を用いた算定結果としている)

調査時点（26年経過時点）、運転開始後60年経過時点およびかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点のそれぞれ前後5年の鉄筋腐食減量の算定結果

各ケースにおける調査時点（26年経過時点）、運転開始後60年経過時点およびかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点のそれぞれ前後5年の鉄筋腐食減量の算定結果を示す。

表 1 3 気中帯での鉄筋腐食減量の算定結果（0～2cmの測定結果を用いる場合）

No. 1		No. 2		No. 3		平均値	
運転開始後経過年数(年)	鉄筋腐食減量(10 <sup>-4</sup> g/cm <sup>2</sup> )	運転開始後経過年数(年)	鉄筋腐食減量(10 <sup>-4</sup> g/cm <sup>2</sup> )	運転開始後経過年数(年)	鉄筋腐食減量(10 <sup>-4</sup> g/cm <sup>2</sup> )	運転開始後経過年数(年)	鉄筋腐食減量(10 <sup>-4</sup> g/cm <sup>2</sup> )
21	2.4	21	2.4	21	2.4	21	2.4
22	2.5	22	2.5	22	2.5	22	2.5
23	2.6	23	2.6	23	2.6	23	2.6
24	2.8	24	2.8	24	2.8	24	2.8
25	2.9	25	2.9	25	2.9	25	2.9
26 (調査時点)	3.0	26 (調査時点)	3.0	26 (調査時点)	3.0	26 (調査時点)	3.0
27	3.1	27	3.1	27	3.1	27	3.1
28	3.2	28	3.2	28	3.2	28	3.2
29	3.3	29	3.3	29	3.3	29	3.3
30	3.4	30	3.5	30	3.5	30	3.4
31	3.6	31	3.6	31	3.6	31	3.6
55	6.4	55	6.6	55	6.3	55	6.4
56	6.5	56	6.7	56	6.4	56	6.5
57	6.7	57	6.9	57	6.6	57	6.6
58	6.8	58	7.0	58	6.7	58	6.7
59	6.9	59	7.1	59	6.8	59	6.9
運転開始後60年経過時点	7.0	運転開始後60年経過時点	7.3	運転開始後60年経過時点	6.9	運転開始後60年経過時点	7.0
61	7.2	61	7.4	61	7.0	61	7.1
62	7.3	62	7.6	62	7.1	62	7.2
63	7.4	63	7.7	63	7.2	63	7.4
64	7.5	64	7.8	64	7.4	64	7.5
65	7.7	65	8.0	65	7.5	65	7.6
559	89.3	402	88.7	663	89.4	506	89.1
560	89.5	403	89.0	664	89.6	507	89.3
561	89.7	404	89.3	665	89.8	508	89.6
562	89.9	405	89.6	666	89.9	509	89.8
563	90.1	406	89.9	667	90.1	510	90.0
564 <sup>*1</sup>	90.2	407 <sup>*1</sup>	90.2	668 <sup>*1</sup>	90.2	511 <sup>*1</sup>	90.2
565	90.4	408	90.5	669	90.4	512	90.4
566	90.6	409	90.8	670	90.6	513	90.6
567	90.8	410	91.1	671	90.7	514	90.9
568	91.0	411	91.4	672	90.9	515	91.1
569	91.2	412	91.7	673	91.1	516	91.3

※1 かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点

   : Q<sub>60</sub>最大のケース

表 1 4 気中帯での鉄筋腐食減量の算定結果 (0~2cmの測定結果を用いない場合)

No. 1		No. 2		No. 3		平均値	
運転開始後 経過年数 (年)	鉄筋腐食減量 ( $10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )	運転開始後 経過年数 (年)	鉄筋腐食減量 ( $10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )	運転開始後 経過年数 (年)	鉄筋腐食減量 ( $10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )	運転開始後 経過年数 (年)	鉄筋腐食減量 ( $10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )
21	2.4	21	2.4	21	2.4	21	2.4
22	2.5	22	2.5	22	2.5	22	2.5
23	2.6	23	2.6	23	2.6	23	2.6
24	2.8	24	2.8	24	2.8	24	2.8
25	2.9	25	2.9	25	2.9	25	2.9
26 (調査時点)	3.0	26 (調査時点)	3.0	26 (調査時点)	3.0	26 (調査時点)	3.0
27	3.1	27	3.1	27	3.1	27	3.1
28	3.2	28	3.2	28	3.2	28	3.2
29	3.3	29	3.3	29	3.3	29	3.3
30	3.5	30	3.5	30	3.5	30	3.5
31	3.6	31	3.6	31	3.6	31	3.6
55	6.3	55	6.3	55	6.3	55	6.3
56	6.4	56	6.4	56	6.4	56	6.4
57	6.5	57	6.5	57	6.6	57	6.5
58	6.7	58	6.7	58	6.7	58	6.7
59	6.8	59	6.8	59	6.8	59	6.8
運転開始後 60年経過時点	6.9	運転開始後 60年経過時点	6.9	運転開始後 60年経過時点	6.9	運転開始後 60年経過時点	6.9
61	7.0	61	7.0	61	7.0	61	7.0
62	7.1	62	7.1	62	7.1	62	7.1
63	7.2	63	7.2	63	7.2	63	7.2
64	7.3	64	7.3	64	7.4	64	7.4
65	7.5	65	7.5	65	7.5	65	7.5
438	88.5	335	87.9	541	88.7	413	88.6
439	88.8	336	88.4	542	89.0	414	89.0
440	89.1	337	88.9	543	89.3	415	89.3
441	89.5	338	89.5	544	89.6	416	89.7
442	89.8	339	90.0	545	89.9	417	90.1
443 <sup>*1</sup>	90.1	340 <sup>*1</sup>	90.6	546 <sup>*1</sup>	90.2	418 <sup>*1</sup>	90.5
444	90.5	341	91.1	547	90.4	419	90.9
445	90.8	342	91.7	548	90.7	420	91.3
446	91.1	343	92.3	549	91.0	421	91.7
447	91.5	344	92.8	550	91.3	422	92.0
448	91.8	345	93.4	551	91.6	423	92.4

※1 かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点

表 15 干満帯での鉄筋腐食減量の算定結果 (0~2cmの測定結果を用いる場合)

No. 1		No. 2		No. 3		平均値	
運転開始後 経過年数 (年)	鉄筋腐食減量 ( $10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )	運転開始後 経過年数 (年)	鉄筋腐食減量 ( $10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )	運転開始後 経過年数 (年)	鉄筋腐食減量 ( $10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )	運転開始後 経過年数 (年)	鉄筋腐食減量 ( $10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )
21	2.3	21	2.3	21	2.3	21	2.3
22	2.4	22	2.4	22	2.4	22	2.4
23	2.6	23	2.6	23	2.6	23	2.6
24	2.7	24	2.7	24	2.7	24	2.7
25	2.8	25	2.8	25	2.8	25	2.8
26 (調査時点)	2.9	26 (調査時点)	2.9	26 (調査時点)	2.9	26 (調査時点)	2.9
27	3.0	27	3.0	27	3.0	27	3.0
28	3.1	28	3.1	28	3.1	28	3.1
29	3.2	29	3.2	29	3.2	29	3.2
30	3.3	30	3.3	30	3.3	30	3.3
31	3.4	31	3.4	31	3.4	31	3.4
55	6.1	55	6.1	55	6.1	55	6.1
56	6.2	56	6.2	56	6.2	56	6.2
57	6.3	57	6.3	57	6.3	57	6.3
58	6.4	58	6.4	58	6.4	58	6.4
59	6.5	59	6.5	59	6.5	59	6.5
運転開始後 60年経過時点	6.7	運転開始後 60年経過時点	6.7	運転開始後 60年経過時点	6.7	運転開始後 60年経過時点	6.7
61	6.8	61	6.8	61	6.8	61	6.8
62	6.9	62	6.9	62	6.9	62	6.9
63	7.0	63	7.0	63	7.0	63	7.0
64	7.1	64	7.1	64	7.1	64	7.1
65	7.2	65	7.2	65	7.2	65	7.2
1085	119.5	1080	119.5	1079	119.4	1078	119.4
1086	119.6	1081	119.6	1080	119.5	1079	119.6
1087	119.7	1082	119.7	1081	119.6	1080	119.7
1088	119.8	1083	119.8	1082	119.8	1081	119.8
1089	120.0	1084	119.9	1083	119.9	1082	119.9
1090 <sup>*1</sup>	120.1	1085 <sup>*1</sup>	120.0	1084 <sup>*1</sup>	120.0	1083 <sup>*1</sup>	120.0
1091	120.2	1086	120.2	1085	120.1	1084	120.1
1092	120.3	1087	120.3	1086	120.2	1085	120.2
1093	120.4	1088	120.4	1087	120.3	1086	120.3
1094	120.5	1089	120.5	1088	120.4	1087	120.4
1095	120.6	1090	120.6	1089	120.5	1088	120.5

※1: かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点

表 1 6 干満帯での鉄筋腐食減量の算定結果 (0~2cmの測定結果を用いない場合)

No. 1		No. 2		No. 3		平均値	
運転開始後 経過年数 (年)	鉄筋腐食減量 ( $10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )	運転開始後 経過年数 (年)	鉄筋腐食減量 ( $10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )	運転開始後 経過年数 (年)	鉄筋腐食減量 ( $10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )	運転開始後 経過年数 (年)	鉄筋腐食減量 ( $10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )
21	2.3	21	2.3	21	2.3	21	2.3
22	2.4	22	2.4	22	2.4	22	2.4
23	2.6	23	2.6	23	2.6	23	2.6
24	2.7	24	2.7	24	2.7	24	2.7
25	2.8	25	2.8	25	2.8	25	2.8
26 (調査時点)	2.9	26 (調査時点)	2.9	26 (調査時点)	2.9	26 (調査時点)	2.9
27	3.0	27	3.0	27	3.0	27	3.0
28	3.1	28	3.1	28	3.1	28	3.1
29	3.2	29	3.2	29	3.2	29	3.2
30	3.3	30	3.3	30	3.3	30	3.3
31	3.4	31	3.4	31	3.4	31	3.4
55	6.1	55	6.1	55	6.1	55	6.1
56	6.2	56	6.2	56	6.2	56	6.2
57	6.3	57	6.3	57	6.3	57	6.3
58	6.4	58	6.4	58	6.4	58	6.4
59	6.5	59	6.5	59	6.5	59	6.5
運転開始後 60年経過時点	6.6	運転開始後 60年経過時点	6.6	運転開始後 60年経過時点	6.7	運転開始後 60年経過時点	6.7
61	6.7	61	6.7	61	6.8	61	6.8
62	6.8	62	6.9	62	6.9	62	6.9
63	7.0	63	7.0	63	7.0	63	7.0
64	7.1	64	7.1	64	7.1	64	7.1
65	7.2	65	7.2	65	7.2	65	7.2
1064	119.5	1063	119.5	1061	119.4	1060	119.4
1065	119.6	1064	119.6	1062	119.5	1061	119.5
1066	119.7	1065	119.7	1063	119.6	1062	119.7
1067	119.8	1066	119.8	1064	119.7	1063	119.8
1068	119.9	1067	119.9	1065	119.8	1064	119.9
1069 <sup>*1</sup>	120.0	1068 <sup>*1</sup>	120.0	1066 <sup>*1</sup>	120.0	1065 <sup>*1</sup>	120.0
1070	120.1	1069	120.1	1067	120.1	1066	120.1
1071	120.2	1070	120.3	1068	120.2	1067	120.2
1072	120.3	1071	120.4	1069	120.3	1068	120.3
1073	120.5	1072	120.5	1070	120.4	1069	120.4
1074	120.6	1073	120.6	1071	120.5	1070	120.6

※1：かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点

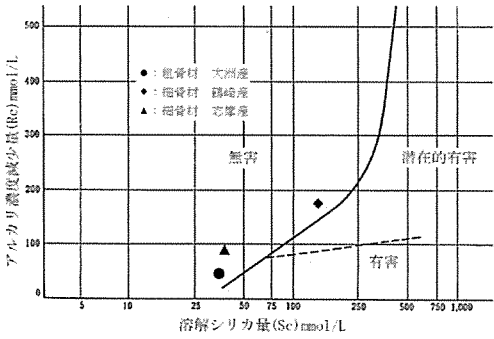
1065<sup>\*1</sup> : Q<sub>60</sub>最大のケース







タイトル	機械振動の評価対象の選定過程について																																																	
説明	<p>機械振動の評価対象については、「日本原子力学会標準 原子力発電所の高経年化対策実施基準：2022（追補1） 付属書C 添付資料-4 経年劣化メカニズムまとめ表-PWR」を踏まえ、タービン架台および非常用ディーゼル発電機基礎を選定し、このうち非常用ディーゼル発電機については定例試験等における一時的な運転のみであり、タービン（高圧、低圧）と比較してその振動の大きさ、頻度の影響が非常に小さいといえるため、機械振動によるコンクリートの経年劣化への影響は小さいと判断し、タービン架台を評価対象部位とした。</p> <p>評価点は、機械振動荷重を直接受ける機器支持部とした。      主要な機器の定格出力および重量を表1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 主要な機器の定格出力および重量</p> <table border="1" data-bbox="459 831 1316 1778"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>運転状態</th> <th>定格出力(kW)</th> <th>重量(kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>高圧タービン</td> <td>連続</td> <td>890,000</td> <td>272,000</td> </tr> <tr> <td>低圧タービン</td> <td>連続</td> <td>890,000</td> <td>1,463,500</td> </tr> <tr> <td>海水ポンプモータ</td> <td>連続</td> <td>380</td> <td>17,150</td> </tr> <tr> <td>格納容器 スプレイポンプモータ</td> <td>一時</td> <td>720</td> <td>14,450</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">余熱除去ポンプモータ</td> <td>連続 (余熱除去時)</td> <td rowspan="2">250</td> <td rowspan="2">10,050</td> </tr> <tr> <td>一時 (低圧注入時)</td> </tr> <tr> <td>非常用ディーゼル発電機</td> <td>一時</td> <td>6,200</td> <td>156,000</td> </tr> <tr> <td>電動 補助給水ポンプモータ</td> <td>一時</td> <td>420</td> <td>4,520</td> </tr> <tr> <td>高圧注入ポンプモータ</td> <td>一時</td> <td>1,220</td> <td>20,300</td> </tr> <tr> <td>充てんポンプモータ</td> <td>連続</td> <td>720</td> <td>17,990</td> </tr> <tr> <td>タービン動 主給水ポンプタービン</td> <td>連続</td> <td>5,600</td> <td>34,200</td> </tr> <tr> <td>タービン動 補助給水ポンプタービン</td> <td>一時</td> <td>860</td> <td>4,900</td> </tr> </tbody> </table>	機器名称	運転状態	定格出力(kW)	重量(kg)	高圧タービン	連続	890,000	272,000	低圧タービン	連続	890,000	1,463,500	海水ポンプモータ	連続	380	17,150	格納容器 スプレイポンプモータ	一時	720	14,450	余熱除去ポンプモータ	連続 (余熱除去時)	250	10,050	一時 (低圧注入時)	非常用ディーゼル発電機	一時	6,200	156,000	電動 補助給水ポンプモータ	一時	420	4,520	高圧注入ポンプモータ	一時	1,220	20,300	充てんポンプモータ	連続	720	17,990	タービン動 主給水ポンプタービン	連続	5,600	34,200	タービン動 補助給水ポンプタービン	一時	860	4,900
機器名称	運転状態	定格出力(kW)	重量(kg)																																															
高圧タービン	連続	890,000	272,000																																															
低圧タービン	連続	890,000	1,463,500																																															
海水ポンプモータ	連続	380	17,150																																															
格納容器 スプレイポンプモータ	一時	720	14,450																																															
余熱除去ポンプモータ	連続 (余熱除去時)	250	10,050																																															
	一時 (低圧注入時)																																																	
非常用ディーゼル発電機	一時	6,200	156,000																																															
電動 補助給水ポンプモータ	一時	420	4,520																																															
高圧注入ポンプモータ	一時	1,220	20,300																																															
充てんポンプモータ	連続	720	17,990																																															
タービン動 主給水ポンプタービン	連続	5,600	34,200																																															
タービン動 補助給水ポンプタービン	一時	860	4,900																																															

<p>タイトル</p>	<p>1984年に実施した化学法および3号炉建設時(1989年~1993年)に実施したモルタルバー法の試験結果について</p>																																																						
<p>説明</p>	<p>1984年に実施した化学法の試験結果を表1、図1に示す。3号炉建設時(1989年~1993年)に実施したモルタルバー法の試験結果を表2に示す。          化学法は、ASTM C 289 骨材の潜在反応性試験(化学法)による。          モルタルバー法は、JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)の付属書8「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(モルタルバー法)」による。</p> <p style="text-align: center;">表1 化学法の試験結果</p> <table border="1" data-bbox="435 707 1337 1032"> <thead> <tr> <th>対象構造物</th> <th>試験方法 (試験実施年)</th> <th colspan="2">骨材</th> <th colspan="2">測定値</th> <th>判定基準</th> <th>結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">焼却炉建家</td> <td rowspan="6">化学法 (1984)</td> <td rowspan="2">粗骨材</td> <td rowspan="2">大洲産</td> <td>アルカリ濃度減少量 (Re)mmol/L</td> <td>45</td> <td rowspan="6">Re、Scの関係から ASTM規格曲線より判定</td> <td rowspan="6">無害</td> </tr> <tr> <td>溶解シリカ量 (Sc)mmol/L</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">細骨材</td> <td rowspan="2">鶴崎産</td> <td>アルカリ濃度減少量 (Re)mmol/L</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>溶解シリカ量 (Sc)mmol/L</td> <td>140</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">細骨材</td> <td rowspan="2">志摩産</td> <td>アルカリ濃度減少量 (Re)mmol/L</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>溶解シリカ量 (Sc)mmol/L</td> <td>38</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">図1 ASTM C 289の判定区分による判定結果</p>  <p style="text-align: center;">表2 モルタルバー法の試験結果</p> <table border="1" data-bbox="435 1608 1337 1780"> <thead> <tr> <th>対象構造物</th> <th>試験方法 (試験実施年)</th> <th colspan="2">骨材</th> <th>測定値(6ヵ月) 【%】</th> <th>判定基準</th> <th>結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">外部遮蔽壁ほか</td> <td rowspan="3">モルタルバー法 (1989~1993)</td> <td>粗骨材</td> <td>三瓶産</td> <td>0.028</td> <td rowspan="3">膨張率が6ヶ月で 0.1%未満が無害</td> <td rowspan="3">無害</td> </tr> <tr> <td>細骨材</td> <td>長浜産</td> <td>0.086</td> </tr> <tr> <td>細骨材</td> <td>長浜産+三瓶産</td> <td>0.077</td> </tr> </tbody> </table>					対象構造物	試験方法 (試験実施年)	骨材		測定値		判定基準	結果	焼却炉建家	化学法 (1984)	粗骨材	大洲産	アルカリ濃度減少量 (Re)mmol/L	45	Re、Scの関係から ASTM規格曲線より判定	無害	溶解シリカ量 (Sc)mmol/L	35	細骨材	鶴崎産	アルカリ濃度減少量 (Re)mmol/L	175	溶解シリカ量 (Sc)mmol/L	140	細骨材	志摩産	アルカリ濃度減少量 (Re)mmol/L	90	溶解シリカ量 (Sc)mmol/L	38	対象構造物	試験方法 (試験実施年)	骨材		測定値(6ヵ月) 【%】	判定基準	結果	外部遮蔽壁ほか	モルタルバー法 (1989~1993)	粗骨材	三瓶産	0.028	膨張率が6ヶ月で 0.1%未満が無害	無害	細骨材	長浜産	0.086	細骨材	長浜産+三瓶産	0.077
対象構造物	試験方法 (試験実施年)	骨材		測定値		判定基準	結果																																																
焼却炉建家	化学法 (1984)	粗骨材	大洲産	アルカリ濃度減少量 (Re)mmol/L	45	Re、Scの関係から ASTM規格曲線より判定	無害																																																
				溶解シリカ量 (Sc)mmol/L	35																																																		
		細骨材	鶴崎産	アルカリ濃度減少量 (Re)mmol/L	175																																																		
				溶解シリカ量 (Sc)mmol/L	140																																																		
		細骨材	志摩産	アルカリ濃度減少量 (Re)mmol/L	90																																																		
				溶解シリカ量 (Sc)mmol/L	38																																																		
対象構造物	試験方法 (試験実施年)	骨材		測定値(6ヵ月) 【%】	判定基準	結果																																																	
外部遮蔽壁ほか	モルタルバー法 (1989~1993)	粗骨材	三瓶産	0.028	膨張率が6ヶ月で 0.1%未満が無害	無害																																																	
		細骨材	長浜産	0.086																																																			
		細骨材	長浜産+三瓶産	0.077																																																			

タイトル	伊方3号炉周辺の地下水による劣化影響について								
説明	<p>1. はじめに 伊方3号炉のコンクリート構造物うち、原子炉格納施設基礎、海水ピットなどの一部は地下に埋設されているため、これらの構造物に対する地下水による経年劣化影響について検討を行った。</p> <p>コンクリートの強度低下に影響を及ぼすと想定される地下水に起因する経年劣化要因を抽出するとともに、それらが伊方3号炉の地下埋設部コンクリートにおいて発生し、進展する可能性について評価を行った。</p> <p>2. 経年劣化影響評価</p> <p>2.1 地下水に起因する経年劣化要因の抽出 地下水に起因するコンクリートの経年劣化要因とその概要を表1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 地下水に起因する経年劣化要因</p> <table border="1" data-bbox="434 904 1323 1482"> <thead> <tr> <th data-bbox="434 904 576 981">経年劣化要因</th> <th data-bbox="576 904 1323 981">概要</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="434 981 576 1160">塩分浸透</td> <td data-bbox="576 981 1323 1160">コンクリート中に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで達すると、鉄筋表面の不動態被膜が破壊されるため、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="434 1160 576 1339">アルカリ骨材反応</td> <td data-bbox="576 1160 1323 1339">コンクリート中の反応性シリカを含む骨材と、セメントなどに含まれるアルカリ（ナトリウムイオンやカリウムイオン）が、水の存在下で反応してアルカリ珪酸塩を生成し、この膨張作用によりコンクリートにひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="434 1339 576 1482">化学的侵食</td> <td data-bbox="576 1339 1323 1482">水分中の酸や硫酸塩等の塩類とセメント水和物の化学反応により、セメントペーストの溶解（酸）や、コンクリート表層の剥離・剥落（塩類）が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。</td> </tr> </tbody> </table> <p>2.2 地下水に起因するコンクリートの経年劣化評価 コンクリートの経年劣化要因のうち、塩分浸透、アルカリ骨材反応、化学的侵食が伊方3号炉の地下埋設部コンクリートにおいて発生し、進展する可能性について、伊方3号炉の環境条件に基づき評価を行った。</p> <p>2.2.1 塩分浸透 コンクリート中に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで達すると、鉄筋表面の不動態被膜が破壊されるため、鉄筋はコンクリート中の水分および酸素の作用により腐食し始める。腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。</p> <p>伊方3号炉の対象構造物においては塩分浸透を生じる可能性があるため、経年劣化に対する評価を実施している。</p>	経年劣化要因	概要	塩分浸透	コンクリート中に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで達すると、鉄筋表面の不動態被膜が破壊されるため、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。	アルカリ骨材反応	コンクリート中の反応性シリカを含む骨材と、セメントなどに含まれるアルカリ（ナトリウムイオンやカリウムイオン）が、水の存在下で反応してアルカリ珪酸塩を生成し、この膨張作用によりコンクリートにひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。	化学的侵食	水分中の酸や硫酸塩等の塩類とセメント水和物の化学反応により、セメントペーストの溶解（酸）や、コンクリート表層の剥離・剥落（塩類）が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。
経年劣化要因	概要								
塩分浸透	コンクリート中に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで達すると、鉄筋表面の不動態被膜が破壊されるため、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。								
アルカリ骨材反応	コンクリート中の反応性シリカを含む骨材と、セメントなどに含まれるアルカリ（ナトリウムイオンやカリウムイオン）が、水の存在下で反応してアルカリ珪酸塩を生成し、この膨張作用によりコンクリートにひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。								
化学的侵食	水分中の酸や硫酸塩等の塩類とセメント水和物の化学反応により、セメントペーストの溶解（酸）や、コンクリート表層の剥離・剥落（塩類）が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。								

その結果、各評価部位における鉄筋の腐食減量は、運転開始後60年経過時点の想定においてもかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点での鉄筋の腐食減量を十分に下回っている。

また、定期的な建屋内部からの目視確認の結果、塩分浸透による鉄筋腐食に起因するひび割れは確認されていない。さらにコンクリート躯体が直接海水に接触する海水ピットにおいても、塩分浸透による鉄筋腐食に起因するひび割れは確認されていない。

したがって、塩分浸透の評価結果、目視確認の結果および最も厳しい環境条件にある海水ピットの現状に鑑み、その他の地下埋設部コンクリートにおいても、塩分浸透によるコンクリートの経年劣化が進展し、伊方3号炉の供用期間中にコンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性は極めて低いと考えられる。

#### 2.2.2 アルカリ骨材反応

アルカリ骨材反応は、コンクリート中に存在するアルカリ溶液と骨材中に含まれる反応性シリカ鉱物の化学反応である。このとき生成されたアルカリシリカゲルが周囲の水を吸収して膨張するため、コンクリート表面にひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

ただし、伊方3号炉で使用している骨材については、別紙14に示すとおり、1984年に化学法（ASTM C 289）による反応性試験を実施し、反応性骨材でないこと、および1989年から1993年にモルタルバー法（JIS A 5308 附属書8）による反応性試験を実施し、その結果得られた膨張率は「材齢6ヶ月で0.1%」の判定基準に対し無害と判定されている。

また、定期的な建屋内部からの目視確認の結果、アルカリ骨材反応に起因するひび割れは確認されていない。さらに絶えず海水が供給される環境下にある海水ピットにおいても、アルカリ骨材反応に起因するひび割れは確認されていない。

したがって、使用骨材の反応性試験結果、目視確認の結果および最も厳しい環境条件にある海水ピットの現状を鑑み、その他の地下埋設部コンクリートにおいても、アルカリ骨材反応によるコンクリートの経年劣化が生じる可能性は極めて低いと考えられる。

#### 2.2.3 化学的侵食

コンクリートの化学的侵食は、コンクリートが外部からの化学作用によってセメント硬化体を構成する水和生成物が、変質や分解により結合能力を失っていく事象である。化学的侵食はその劣化機構によって、1) セメント水和物との化学反応による溶解、2) セメント水和物との化学反応による膨張に大別される。

##### 1) セメント水和物との化学反応による溶解

コンクリート中のセメント水和物との化学反応により、本来、水に溶解しにくいセメント水和物を可溶性物質に変質させ、コンクリートが多孔質化する、あるいは分解することで骨材の露出や脱落などが生じる。

2) セメント水和物との化学反応による膨張

コンクリート中のセメント水和物との化学反応により、新たな化合物が生成され、膨張する際の膨張圧がコンクリートにひび割れや剥離を生じさせる。

一般的な環境においては、化学的侵食が発生することはほとんどなく、温泉地帯、酸性河川流域、酸性・硫酸塩土壌等に建造された構造物等が化学的侵食の影響を受けるとされている。

そこで、伊方3号炉における地下水の水質試験結果に基づき、化学的侵食が発生し、進展する可能性について評価を行った。

- (1) 伊方3号炉地下水水質試験における地下水採取位置および試験結果  
原子炉補助建屋内ピット（図1）において採取した地下水について実施した地下水水質試験結果を表2に示す。

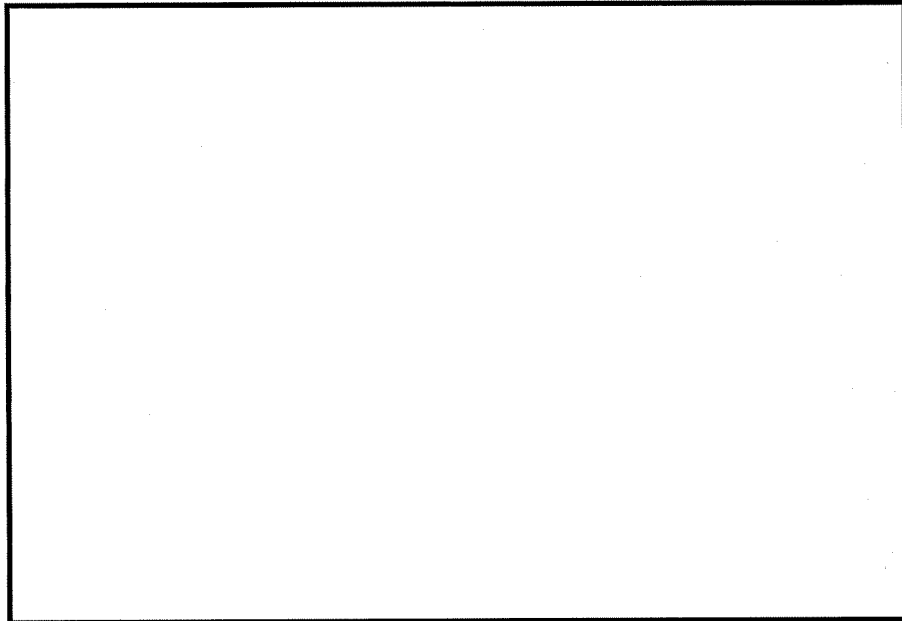


図1 伊方3号炉地下水採取位置

表2 伊方3号炉における地下水水質試験結果

pH	硫酸塩 (mg/l)	マグネ シウム (mg/l)	アンモ ニウム (mg/l)	侵食性 遊離炭酸 (mg/l)
7.9	11.4	8.5	0.1未満	2.1

(2) 地下水水質試験結果の分析

伊方3号炉における地下水水質試験結果（pH、硫酸塩、マグネシウム、アンモニウム、侵食性遊離炭酸）をEN206<sup>1)</sup>の地下水の環境区分と対比した結果を表3に示す。

表3 伊方3号炉における試験結果とEN206の環境区分(地下水)の対比

環境区分	XA1	XA2	XA3	伊方3号炉	
	弱い 化学的侵食	標準的な 化学的侵食	強い 化学的侵食		
pH [-]	$6.5 \geq X \geq 5.5$	$5.5 > X \geq 4.5$	$4.5 > X \geq 4.0$	7.9	該当区分なし
硫酸塩 [mg/l]	$200 \leq X \leq 600$	$600 < X \leq 3000$	$3000 < X \leq 6000$	11.4	該当区分なし
マグネシウム [mg/l]	$300 \leq X \leq 1000$	$1000 < X \leq 3000$	$3000 < X$	8.5	該当区分なし
アンモニウム [mg/l]	$15 \leq X \leq 30$	$30 < X \leq 60$	$60 < X \leq 100$	0.1 未満	該当区分なし
侵食性 遊離炭酸塩 [mg/l]	$15 \leq X \leq 40$	$40 < X \leq 100$	$100 < X$	2.1	該当区分なし

(a) pH

EN206のいずれの環境区分にも該当しないことを確認した。

(b) 硫酸塩

EN206のいずれの環境区分にも該当しないことを確認した。

(c) マグネシウム

EN206のいずれの環境区分にも該当しないことを確認した。

(d) アンモニウム

EN206のいずれの環境区分にも該当しないことを確認した。

(e) 侵食性遊離炭酸塩

EN206のいずれの環境区分にも該当しないことを確認した。

1) BSI, BS ES 206 : Concrete - Specification, performance, production and conformity (2013)

(3) 化学的侵食に関する経年劣化評価

伊方3号炉の地下水の水質試験結果に基づき地下水成分の分析を行った結果、酸や硫酸塩に起因するコンクリートの経年劣化が進展する可能性は低いと考えられる。

また、対象構造物のうち海洋環境の影響を直接受ける海水ピットにおいては、化学的侵食に特有の劣化兆候は見られない。

したがって、地下水の水質分析結果に加え、海水由来の侵食性物質に対して最も厳しい環境下にある海水ピットの現状に鑑み、その他の地下埋設部コンクリートにおいても、化学的侵食によるコンクリートの経年劣化が生じる可能性は極めて低いと考えられる。

2.3 地下水に起因するコンクリートの経年劣化評価に関するまとめ

地下水に起因するコンクリートの経年劣化要因が伊方3号炉の地下埋設部コンクリートにおいて発生し進展する可能性について、伊方3号炉の環境条件に基づき評価を行った。結果を表4に示す。

以上より、塩分浸透に関しては発生の可能性は否定できないものの、表4にあげた各経年劣化要因が伊方3号炉の地下埋設部コンクリートにおいて進展する可能性は極めて低いことを確認した。

表4 地下水に起因するコンクリートの経年劣化要因に係る発生および進展の可能性

経年劣化要因	経年劣化要因のスクリーニング結果		
	発生の可能性	進展の可能性	環境条件・根拠等
塩分浸透	○	×	地下水から塩化物イオンが供給されるため発生の可能性は否定できないものの、塩分浸透による鉄筋腐食に起因するひび割れは建屋内部からの目視確認において確認されていない。 また、海水の影響を受ける海水ピットから採取したコアサンプルによって塩分浸透に対して健全性を有していることを確認している。
アルカリ骨材反応	×	×	コンクリートに使用している骨材について化学法およびモルタルパー法による反応性試験を実施した結果、無害と判定された。 また、アルカリ骨材反応が起きた場合に発生する膨張性のひび割れは、建屋内部からの目視確認において確認されていない。 さらに、絶えず海水が供給される環境下にある海水ピットにおいても、アルカリ骨材反応に起因する膨張性のひび割れは確認されていない。
化学的侵食	×	×	伊方3号炉は土壌や地下水に侵食性物質が多く含まれる温泉地帯や酸性河川流域等の付近には建設されていない。 また、地下水成分の分析の結果、酸や硫酸塩に起因するコンクリート劣化の可能性は極めて低いことを確認している。