

川内原子力発電所 2 号炉審査資料	
資料番号	QSN2-PLM40-特別点検（コンクリート）
提出年月日	2022 年 10 月 26 日

川内原子力発電所 2 号炉 特別点検
(コンクリート構造物)

補足説明資料

2022年10月26日

九州電力株式会社

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. はじめに	1
2. 要求事項	1
3. 点検方法	1
3.1 点検方法の概要	1
3.2 点検方法の選定	4
3.3 試験員の力量	10
4. 点検箇所	11
4.1 選定プロセス	11
4.2 選定結果	26
5. 点検結果	28
6. まとめ	33

別紙 1～6

別紙 1. 特別点検実施箇所	35
別紙 2. 遮蔽能力における非破壊試験実施箇所	49
別紙 3. 空気環境測定箇所	52
別紙 4. 中性化深さにおける非破壊試験実施箇所	61
別紙 5. 塩分量測定箇所	69
別紙 6. 塩分量測定の考え方	74

1. はじめに

本資料は、川内2号炉で実施したコンクリート構造物の特別点検について、実施した内容を取りまとめたものである。

2. 要求事項

対象の構造物、その対象の部位、着目する劣化事象及び点検方法は、「実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド」¹⁾（以下、「運用ガイド」という。）に定められている。要求事項の概要を表2-1に示す。

表 2-1 要求事項の概要¹⁾

対象の構造物	対象の部位	着目する劣化事象	点検方法／点検項目
安全機能を有するコンクリート構造物並びに安全機能を有する系統及び機器を支持するコンクリート構造物	コンクリート	強度低下及び 遮蔽能力低下	採取したコアサンプル等による強度、遮蔽能力、中性化、塩分浸透及びアルカリ骨材反応の確認
常設重大事故等対処設備に属するコンクリート構造物及び常設重大事故等対処設備に属する機器を支持するコンクリート構造物			

3. 点検方法

3.1 点検方法の概要

3.1.1 点検の概要

コンクリート構造物は、強度低下及び遮蔽能力低下の観点で、これまでに高経年化技術評価において様々な劣化事象に対する技術評価を行い、その健全性を確認してきた。高経年化技術評価においては、劣化事象ごとに最も厳しい使用条件等にあるコンクリート構造物を代表構造物として選定し、その中でも最も条件が厳しい箇所を評価点として技術評価を行い、健全性を確認したうえで、その他のコンクリート構造物にも、使用条件等が代表構造物に包含されていることを踏まえて技術評価結果を展開している。また、この技術評価においては、評価の入力値となる中性化や塩分浸透、強度を確認するためのコアサンプルによる点検を実施している。

今回の特別点検では、これまで高経年化技術評価においてコアサンプルによる確認がなされていない範囲についても、点検を実施した。

3.1.2 点検項目の詳細

運用ガイドにおいては、“この確認においては、この組合せごとに、対象の部位の中で点検項目に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所から採取したコアサンプルによる確認をもって、当該組合せに係る確認を行ったものとすることができる。”との記載がある。この記載を踏まえ、点検項目に照らして適切な点検方法及び点検箇所（コアサンプル採取箇所）を選定することとした。

運用ガイドに定められている加圧水型軽水炉の特別点検を実施する対象となるコンクリート構造物及び部位、点検項目を表 3.1.2-1 に示す。

表 3. 1. 2-1 加圧水型軽水炉の点検箇所¹⁾

対象のコンクリート構造物		対象の部位	点検項目				
			強度	遮蔽能力* ¹	中性化深さ* ²	塩分浸透* ^{2, 3}	アルカリ骨材反応
原子炉格納施設等		外部遮蔽壁	○	○	○	○	○
		内部コンクリート	○	○	○	—	○
		基礎マット	○	—	○	—	○
原子炉補助建屋		外壁	○	○	○	○	○
		内壁及び床	○	○	○	—	○
		使用済み燃料プール	○	—	○	—	○
		基礎マット	○	—	○	—	○
タービン建屋		外壁	○	—	○	○	○
		内壁及び床	○	—	○	—	○
		基礎マット	○	—	○	—	○
取水槽		海中帯	○	—	○	○	○
		干満帯	○	—	○	○	○
		気中帯	○	—	○	○	○
安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物	原子炉格納施設内	—	○	—	○	—	○
	原子炉補助建屋内	—	○	—	○	—	○
	タービン建屋内(タービン架台を含む。)	—	○	—	○	—	○
上記以外の構造物(安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)		—	○	○	○	○	○

* 1 : 設計及び工事の計画の認可申請書(以下「設工認申請書」という。)において、遮蔽能力(乾燥単位容積質量)が記載されている範囲について確認する。

* 2 : コアサンプルによる確認と同等の方法(ドリル法等)によることもできる。また、中性化深さを確認する場所は、塗装等のコンクリート表面被覆のない場所を選定する。

* 3 : 海塩粒子の付着等によって塩分浸透の可能性のある場所(海風の直接当たる外壁等)及び取水構造物について確認する。

3.2 点検方法の選定

3.2.1 点検方法選定の考え方

運用ガイドにおいては、点検項目は明示されているがその具体的な方法については記載がないことから、点検項目ごとに、以下の順序で点検方法を選定した。

- ①点検項目に適した JIS 規格及び各種学会規格がある。
- ②JIS 規格及び各種学会規格を一部変更する場合、変更箇所の妥当性を適切に評価する。
- ③点検項目に適した規格が存在しない場合、最新の知見を踏まえた最適な方法を検討する。

3.2.2 選定した点検方法

選定した点検方法を表 3.2.2-1 に示す。

表 3.2.2-1 選定した点検方法

点検項目	点検方法	適用	備考
強度	JIS A 1108 : 2018 コンクリートの圧縮強度試験方法	①	
遮蔽能力	JASS 5N T-601 : 2013 コンクリートの乾燥単位容積質量試験方法に準じた方法	②	適用範囲（コアサンプル、試験体の大きさ）を変更
中性化深さ	JIS A 1152 : 2018 コンクリートの中性化深さの測定方法	①	
塩分浸透	JIS A 1154 : 2020 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法	①	
アルカリ骨材反応	原子力規制庁「安全研究成果報告 運転期間延長認可制度及び高経年化対策制度に係る技術的知見の整備に関する研究」(RREP-2018-1004)に基づく方法	③	最新知見（原子力規制庁「安全研究成果報告 運転期間延長認可制度及び高経年化対策制度に係る技術的知見の整備に関する研究」(RREP-2018-1004)）を参照

このうち、適用が②、③であり、方法が規格化されていない遮蔽能力とアルカリ骨材反応の点検方法について、その妥当性を説明する。

3.2.3 遮蔽能力の点検方法の妥当性

遮蔽能力の点検方法として、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事建築工事標準仕様書」(2013)にコンクリートの乾燥単位容積質量試験方法(以下、「JASS 5N T-601」という。)が定められている。この試験方法はテストピースを対象としているが、既往の研究^{2),3)}において規格の適用範囲であるテストピースとコア供試体で同様の乾燥単位容積質量が得られると報告されている。

このため、点検方法として JASS 5N T-601 を用いることは妥当であると判断した。

3.2.4 アルカリ骨材反応の点検方法の妥当性

アルカリ骨材反応の状況を確認するための各種規格類を調査した結果、適した JIS 及び学会規格が存在しないことが分かった。そのため、最新知見のひとつである原子力規制庁「安全研究成果報告 運転期間延長認可制度及び高経年化対策制度に係る技術的知見の整備に関する研究」(RREP-2018-1004)⁴⁾を参照し、点検方法を検討することとした。

本研究では、コンクリート構造物の ASR 診断フロー(例)が提示されている(図 3.2.4-1)。そのフローに基づく、川内 2 号炉は運転開始から約 40 年間において、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れ等は認められていない等、コンクリートの健全性に影響を与えるようなアルカリ骨材反応がこれまで発生していないものの、運用ガイドにおいて採取したコアサンプルによる確認が要求されていること、また発電所内の広範囲において点検が必要であることを踏まえて、「実体顕微鏡観察」を点検方法として選定した。

また、実体顕微鏡での点検に際し、アルカリ骨材反応の発生状況を適切に評価できる点検記録帳票及びデグリー表を作成し、それに基づき点検を行うこととした。アルカリ骨材反応の点検記録帳票を表 3.2.4-1 に、アルカリ骨材反応評価用デグリー表を表 3.2.4-2 に示す。

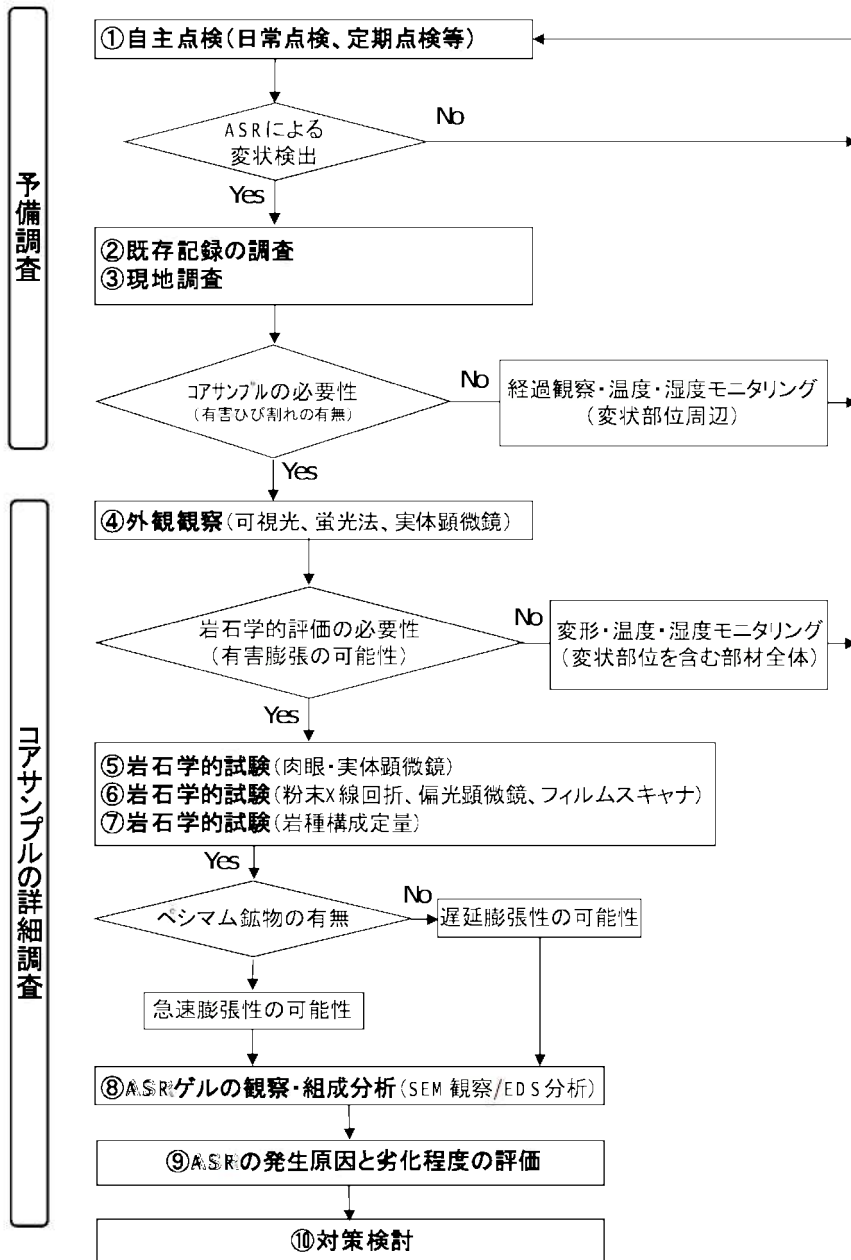


図 3.2.4-1 コンクリート構造物の ASR 診断フロー (例)

表 3. 2. 4-1 アルカリ骨材反応の点検記録帳票

実体顕微鏡観察 確認記録 (/)






確認年月日 年 月 日

担当者

点検項目：アルカリ骨材反応

構造物名称					試験員					
部位					備考					
確認箇所 写真										
構成材種	粗骨材				細骨材					
特記事項										
アルカリ 骨材反応の 発生状況	進行段階 ⁵⁾					<small>(凡例)</small> ◎：顕著 ○：あり +：痕跡程度 -：なし				
	i	ii	iii	iv						v
	骨材の反応リムの形成	セメントペーストへのゲルのしみ・取り巻き	骨材のひび割れ・ゲル充填	セメントペーストのひび割れ・ゲル充填						気泡へのゲル充填
判定	反応性：あり - なし									

表 3. 2. 4-2 アルカリ骨材反応評価用デグリー表

項目	◎：顕著	○：あり	+：痕跡程度	-：なし
I 骨材の反応リムの形成	項目現象が「はっきり明確に」生じていること		項目現象が「かすかに、わずかに」生じていること	項目現象が「ない」こと
II セメントペーストへのゲルのしみ・取り巻き	項目現象が「はっきり明確に」生じていること		項目現象が「かすかに、わずかに」生じていること	項目現象が「ない」こと
III 骨材のひび割れ、ゲル充填	項目現象が「はっきり明確に」生じていること		項目現象が「かすかに、わずかに」生じていること	項目現象が「ない」こと
IV セメントペーストのひび割れ、ゲル充填	項目現象が「はっきり明確に」生じていること		項目現象が「かすかに、わずかに」生じていること	項目現象が「ない」こと
V セメントペースト気泡へのゲル充填	項目現象が「はっきり明確に」生じていること		項目現象が「かすかに、わずかに」生じていること	項目現象が「ない」こと

アルカリ骨材反応の点検結果は点検記録帳票のとおり、確認されたアルカリ骨材反応の状況を踏まえ、「反応性なし」「反応性あり」のどちらかに分類する。

アルカリ骨材反応は、まず、セメントに含まれるアルカリ分に由来するアルカリ溶液が、骨材が有する反応性シリカ分と反応し、水和アルカリシリケート（水ガラス）層と呼ばれる層を作る。その水ガラス層は、コンクリート中のカルシウムイオンと反応し、硬いカルシウムシリケート層となる。これを反応リムと呼び、骨材の外周部にできる。

アルカリ溶液は、骨材外周部の反応リムを通過して骨材内部に浸透し、骨材が有する反応性シリカ分と継続して反応していくが、その反応によって生じた水ガラスは、反応リムがせき止める形となり、骨材の外側へ出て行くことが難しくなるため、反応が進めば進むほど体積が膨張し、膨張圧が骨材内部に生じ、一部の反応生成物（ゲル）がセメントペースト部ににじむ程度に出て行く。この膨張圧が限界を超えると、骨材にひび割れが生じる。

この状態が進展すると、ひび割れが骨材だけに収まらず、セメントペースト部分まで拡大し、ひび割れ部にゲルが充填され始める（図 3.2.4-2）。さらに反応が進展していくと、セメントペースト部に元々存在する気泡部にまでゲルが充填されていき、その状況が顕著に見られるようになると、構造物の目視点検においても、ひび割れが確認できるようになってくる（図 3.2.4-3）。ひび割れの発生は、膨張に対する拘束状態により異なり、拘束の小さな無筋コンクリート構造物等では亀甲状のひび割れが生じ、鉄筋コンクリート構造物では主筋方向に、部材両端が強く拘束されている構造物では拘束されている面に直角にひび割れが生じる。アルカリ骨材反応によるひび割れは部材内部まで達していないことが多い。

アルカリ骨材反応は極めて軽微なものを含めると、ほとんどのコンクリートで発生するものであるため、点検においては、上述するアルカリ骨材反応の進行状況や発生の程度を的確に観察、分類し、実構造物の状況やコアサンプル全体の目視観察等を踏まえ、コンクリートの健全性に影響を与える劣化であるかどうか、という観点で「反応性なし」「反応性あり」の判定を行う。

実体顕微鏡にて観察した結果、「反応性あり」と判定された場合は、図 3.2.4-1 に示すとおり、最新知見を踏まえてより精緻な方法を用いてアルカリ骨材反応の進展状況を確認する。具体的には、反応が生じている骨材の鉱物同定及び反応の進展状況（反応リムの形成・ゲルの滲み、ひび割れ）をより精緻に確認できる「偏光顕微鏡」等を用いる。なお、コアサンプルを採取する場合は、「反応性あり」と判断されたコアサンプルの近傍を選定する。

また、劣化状況評価を踏まえた上で、点検方法の選定プロセス及び点検結果の妥当性の確認のため、代表箇所について偏光顕微鏡による観察を行い、妥当であることを確認している。

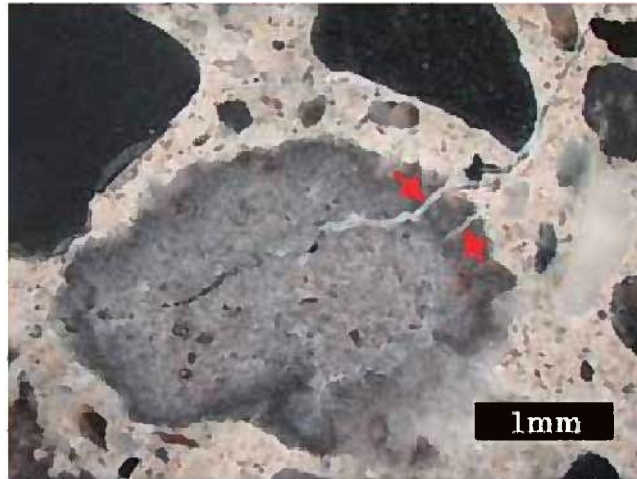


図 3. 2. 4-2 実体顕微鏡観察での膨張ひび割れの確認事例⁶⁾



図 3. 2. 4-3 実構造物における膨張ひび割れ（亀甲状）の事例⁷⁾

3.3 試験員の力量

特別点検を実施する試験員については、特別点検要領書で定めたとおり、建築士、技術士、施工管理技士、コンクリート主任技士、コンクリート技士及びコンクリート診断士や、試験業務に関する十分な経験を有する等、コンクリートに関する技術を有する者が従事している。

4. 点検箇所

4.1 選定プロセス

4.1.1 基本的な考え方

運用ガイドにおいて“この確認においては、この組合せごとに、対象の部位の中で点検項目に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所から採取したコアサンプルによる確認をもって、当該組合せに係る確認を行ったものとする事ができる。”と記載されていることを踏まえ、点検項目ごとに、点検項目に対する劣化メカニズムや影響要素等を踏まえ、コアサンプルが採取可能な部位で使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を選定した。

4.1.2 遮蔽能力の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、遮蔽能力の点検に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を選定した。

具体的には、遮蔽能力はコンクリートの単位容積質量に影響を受け、単位容積質量は、使用材料の単位容積質量や、コンクリート中の水分を逸散させるような熱等の使用環境の影響を受ける。今回、より保守的な点検方法としてコンクリートの乾燥単位容積質量を確認する方法を選定したことから、熱等の、コンクリート中の水分を逸散させるような使用環境の影響がほぼなくなる。そこで、建設時にコンクリートの単位容積質量の計測を実施している部位については、その結果が最も小さかった範囲をコアサンプル採取箇所として選定した（表 4.1.2-1、表 4.1.2-2）。ただし、内部コンクリートについては、放射線の影響が他部位と比較して非常に大きい1次遮蔽壁をコアサンプル採取箇所として選定した。

これに加え、より水和が進展している箇所、すなわち強度が増進している箇所は、コンクリート中の自由水がより多く結合水に変化していると想定される。乾燥単位容積質量の試験は、コンクリート中の自由水を強制的に蒸発させる方法であるため、水和が進展している箇所は、乾燥単位容積質量が相対的に大きいことが想定される。そのため、建設時の記録により選定した部位の中でコアサンプル採取可能な箇所が広範囲な場合、具体的な採取箇所を選定するために、リバウンドハンマーによる非破壊試験によりコンクリート強度を推定するための反発度を確認し、最も反発度が低い箇所、すなわち水和が進展しておらず、乾燥単位容積質量が相対的に小さいと想定される箇所をコアサンプル採取箇所を選定した（表 4.1.2-3）。

表 4. 1. 2-1 建設時のコンクリートの単位容積質量計測結果
(原子炉格納施設等 外部遮蔽壁)

打設日	平均単位容積質量 (g/cm ³)	コアサンプル採取箇所の 選定範囲
1982. 7. 12	2. 318	
1982. 8. 11	2. 314	
1982. 9. 9	2. 313	
1982. 10. 6	2. 313	
1982. 11. 6	2. 313	
1982. 11. 27	2. 314	
1982. 12. 26	2. 317	
1983. 1. 26	2. 313	
1983. 3. 1	2. 315	
1983. 4. 1	2. 318	
1983. 4. 25	2. 315	
1983. 5. 20	2. 313	
1983. 6. 10	2. 312	
1983. 6. 24	2. 308	
1983. 7. 9	2. 317	
1983. 7. 23	2. 312	
1983. 8. 6	2. 315	
1983. 8. 24	2. 315	
1983. 9. 7	2. 307	○
1983. 9. 22	2. 310	
1983. 10. 6	2. 317	
1983. 10. 20	2. 315	
1983. 11. 18	2. 314	
1983. 12. 3	2. 315	
1983. 12. 17	2. 313	
1984. 1. 7	2. 313	
1984. 2. 10	2. 318	
1984. 4. 6	2. 313	
1984. 4. 28	2. 311	
1984. 5. 19	2. 314	
1984. 6. 2	2. 315	
1984. 6. 16	2. 318	
1984. 6. 18	2. 307	○
1984. 6. 21	2. 317	
1984. 6. 28	2. 318	
1984. 7. 10	2. 320	
1984. 7. 25	2. 322	

凡例 ○ : コアサンプル採取箇所を選定した範囲

表 4.1.2-2 建設時のコンクリートの単位容積質量計測結果 (1/2)

(原子炉補助建屋 外壁、内壁及び床)

打設日	平均単位容積質量 (g/cm ³)	コアサンプル採取箇所の選定範囲		打設日	平均単位容積質量 (g/cm ³)	コアサンプル採取箇所の選定範囲	
		外壁	内壁及び床			外壁	内壁及び床
1982. 1. 14	2. 321		/	1982. 12. 24	2. 321		
1982. 2. 6	2. 326		/	1982. 12. 25	2. 301	/	
1982. 2. 19	2. 319		/	1983. 1. 15	2. 307		/
1982. 3. 2	2. 311		/	1983. 1. 24	2. 314		/
1982. 3. 3	2. 315		/	1983. 1. 27	2. 308		
1982. 3. 10	2. 318		/	1983. 2. 5	2. 313		/
1982. 3. 12	2. 314		/	1983. 2. 11	2. 314		/
1982. 3. 13	2. 314		/	1983. 2. 16	2. 314		/
1982. 4. 1	2. 326		/	1983. 2. 17	2. 314		/
1982. 4. 2	2. 326		/	1983. 2. 18	2. 315	/	
1982. 4. 17	2. 321		/	1983. 3. 1	2. 318	/	
1982. 4. 30	2. 318		/	1983. 3. 9	2. 317		/
1982. 5. 1	2. 322		/	1983. 3. 10	2. 315		/
1982. 5. 8	2. 315		/	1983. 3. 16	2. 314		
1982. 5. 10	2. 318		/	1983. 3. 17	2. 313		
1982. 5. 15	2. 318	/		1983. 3. 19	2. 311		/
1982. 6. 4	2. 314		/	1983. 3. 21	2. 313		/
1982. 6. 15	2. 314		/	1983. 3. 29	2. 311	/	
1982. 6. 17	2. 324		/	1983. 3. 31	2. 312		/
1982. 6. 19	2. 318		/	1983. 4. 1	2. 312		/
1982. 6. 30	2. 314		/	1983. 4. 2	2. 318		/
1982. 7. 3	2. 318		/	1983. 4. 11	2. 313		/
1982. 7. 10	2. 310	/		1983. 4. 16	2. 306		/
1982. 7. 15	2. 310		/	1983. 5. 7	2. 306		/
1982. 7. 24	2. 310		/	1983. 5. 10	2. 312		/
1982. 7. 29	2. 318		/	1983. 5. 26	2. 309	/	
1982. 8. 7	2. 308		/	1983. 5. 27	2. 309		
1982. 8. 9	2. 308	/		1983. 6. 3	2. 306		/
1982. 8. 10	2. 315		/	1983. 6. 6	2. 313	/	
1982. 8. 12	2. 315		/	1983. 6. 14	2. 308		
1982. 8. 24	2. 314		/	1983. 6. 23	2. 311		/
1982. 8. 28	2. 310		/	1983. 6. 25	2. 305	/	
1982. 9. 16	2. 310		/	1983. 6. 30	2. 302		/
1982. 9. 20	2. 305		/	1983. 7. 2	2. 306	/	
1982. 9. 27	2. 300		/	1983. 7. 6	2. 310	/	
1982. 10. 1	2. 310		/	1983. 7. 13	2. 303		
1982. 10. 13	2. 301		/	1983. 7. 16	2. 303		/
1982. 10. 14	2. 310	/		1983. 7. 21	2. 307		/
1982. 10. 15	2. 305		/	1983. 8. 1	2. 313	/	
1982. 10. 21	2. 301		/	1983. 8. 4	2. 316		/
1982. 10. 29	2. 298		/	1983. 8. 5	2. 316		
1982. 11. 4	2. 304		/	1983. 8. 23	2. 322		/
1982. 11. 9	2. 315		/	1983. 8. 27	2. 316		
1982. 11. 11	2. 297	○	○	1983. 8. 29	2. 321		
1982. 11. 12	2. 307		/	1983. 9. 1	2. 319		
1982. 11. 27	2. 303		/	1983. 9. 2	2. 313		
1982. 12. 4	2. 305		/	1983. 9. 8	2. 316		
1982. 12. 21	2. 310		/	1983. 9. 12	2. 305		

凡例 ○ : コアサンプル採取箇所を選定した範囲

/ : 範囲外

表 4.1.2-2 建設時のコンクリートの単位容積質量計測結果 (2/2)

(原子炉補助建屋 外壁、内壁及び床)

打設日	平均単位容積質量 (g/cm ³)	コアサンプル採取箇所 の選定範囲	
		外壁	内壁及び床
1983. 9. 20	2.314		
1983. 9. 29	2.320		
1983.10.15	2.322		

凡例 ○ : コアサンプル採取箇所を選定した範囲

／ : 範囲外

表 4.1.2-3 川内 2 号炉 非破壊試験による選定結果 (遮蔽能力)

対象のコンクリート構造物	対象の部位		測定 No	平均反発度	コアサンプル採取選定箇所	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	1983. 9. 7 打設	1	47		
			2	49		
			3	48		
			4	48		
			5	52		
			6	46		
			7	49		
			8	51		
		1984. 6. 18 打設	9	44		
			10	45		
			11	44		
			12	43	○	
			13	45		
			14	44		
			15	47		
			16	46		
	内部コンクリート			1	49	
				2	50	
				3	48	
				4	47	
				5	45	
				6	52	
				7	44	
				8	44	
			9	50		
			10	45		
			11	44		
			12	43	○	
原子炉補助建屋	外壁		1	46		
			2	45		
			3	42	○	
	内壁及び床		1	54		
			2	53		
			3	49	○	

凡例 ○ : コアサンプル採取を選定した箇所

4.1.3 中性化深さの点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、中性化深さの点検に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を選定した。

中性化は二酸化炭素、温度及び湿度の影響を受ける。コンクリート強度は主に使用材料の影響を受けるが、対象の部位の範囲においては使用材料に大きな違いがない。一方で、二酸化炭素濃度や温湿度の使用環境については、対象の部位の範囲において大きく異なることから、使用環境条件が最も厳しくなる箇所を選定することとした。

建屋内（建屋の屋外箇所を含む）においては、まず二酸化炭素濃度、温度及び湿度を測定し、測定した値等が入力値となる森永式⁸⁾を引用して、環境条件による係数を算出した。その算出結果から、各環境条件の総合的な影響度が大きい箇所を、対象の部位ごとに選定した（表 4.1.3-1）。選定に際しては、仕上げがない箇所（対象範囲すべてに仕上げがある場合は除く）を選定することとし、これに加え、コンクリートの強度が低い箇所は、相対的に単位容積質量が小さく中性化が進行しやすいことから、リバウンドハンマーによる非破壊試験によりコンクリート強度を推定するための反発度を確認し、最も反発度が低い箇所をコアサンプル採取箇所を選定した（表 4.1.3-2）。

表 4.1.3-1 川内2号炉 対象の部位ごとの環境条件による係数の算出結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検実施箇所	測定結果に基づく環境条件 (平均値) の入力値			環境条件による 影響度 ^{※1}	備考
			温度 (°C)	湿度 (%)	二酸化炭素濃度 (ppm)		
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	扉内部 (アニュラス)	28.5	57.9	357	0.195	
	内部コンクリート	ハループ室外部壁	29.5	47.5	490	0.273	塗装あり
	基礎マット	地下3階通路部	28.4	38.6	465	0.293	
原子炉補助建屋	外壁	中間建屋地下2階通路部	31.4	35.5	487	0.326	
	内壁及び床	地下1階 ホウ酸タンクポンプ室	35.1	24.8	648	0.443	
	使用済み燃料プール	燃料取扱建屋地下1階 使用済み燃料ピット	28.5	39.3	515	0.306	
	基礎マット	地下3階通路上部	25.3	46.9	462	0.247	
タービン建屋	内壁及び床	地上1階タービン架台	27.5	48.4	524	0.269	
	基礎マット	地下2階タービン架台	22.4	64.9	527	0.179	
上記以外の構造物 (安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	燃料取替用水 タンク基礎	配管トレンチ内	31.1	41.4	595	0.335	

測定期間：2019年11月1日～2020年11月8日

※1 森末式における環境条件による係数 (下記赤部) から算出

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

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)

表 4.1.3-2 川内 2 号炉 非破壊試験による選定結果（中性化深さ）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定 No	平均反発度	コアサンプル採取選定箇所	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	1	54		
		2	45	○	
		3	51		
	内部コンクリート	1	43		
		2	46		
		3	42	○	
	基礎マット	1	52		
		2	49	○	
		3	52		
原子炉補助建屋	外壁	1	54		
		2	53	○	
		3	55		
	内壁及び床	1	46	○	
		2	48		
		3	47		
		4	47		
	使用済み燃料プール	1	57		
		2	56		
		3	55	○	
	基礎マット	1	50		
		2	53		
		3	49	○	
	タービン建屋	内壁及び床	1	51	
			2	50	
3			47	○	
基礎マット		1	54		
		2	56		
		3	53	○	
取水槽	干満帯	1	50		
		2	58		
		3	48	○	
	気中帯	1	50	○	
		2	54		
		3	50	○	
上記以外の構造物（安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。）	非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎	1	37	○	
		2	46		
		3	43		
	燃料取替用水タンク基礎	1	41	○	
		2	47		
		3	46		

凡例 ○：コアサンプル採取を選定した箇所

4.1.4 塩分浸透の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、塩分浸透の点検に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を選定した。

塩分浸透は、構造物へ飛来してくる海からの塩分量や、使用材料及びコンクリート調合の影響を受けるが、対象の部位の範囲においては、使用材料や調合に大きな違いがない。一方、構造物へ飛来、付着する塩分量は、対象の部位において、設置される環境条件において大きく影響を受けることから、使用環境条件が最も厳しくなる箇所を選定することとした。

大型構造物である外部遮蔽壁については、飛来塩分を捕集する器具（ドライガーゼ法、図4.1.4-1）を高さ方向に分散して設置し、捕集した塩分量が最も多い箇所をコアサンプル採取箇所を選定した（表4.1.4-1）。

その他の部位については、設置環境を踏まえ、X線によりコンクリート表面の塩分量を測定する器具（ポータブル型蛍光X線分析計、図4.1.4-2）を用いて構造物のコンクリート表面の塩分量を測定し、測定した塩分量が最も多い箇所をコアサンプル採取箇所を選定した（表4.1.4-2）。



図 4. 1. 4-1 飛来塩分捕集器
(ドライガーゼ法)



図 4. 1. 4-2 表面塩分量測定器
(ポータブル型蛍光X線分析計)

表 4.1.4-1 川内2号炉 塩分量測定による選定結果（飛来塩分捕集器）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定 No	測定値 飛来塩分量 (mg/m ²)	コアサンプル 採取選定箇所
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	1	33,403	○
		2	30,646	
		3	20,378	

凡例 ○：コアサンプル採取を選定した箇所

測定期間：2019年11月5日～2020年11月4日

表 4.1.4-2 川内2号炉 塩分量測定による選定結果（ポータブル型蛍光X線分析計）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定 No	測定値 表面塩分量 (ppm)	コアサンプル 採取選定箇所
原子炉補助建屋	外壁	1	2,000	
		2	3,360	
		3	2,100	
		4	3,420	
		5	5,210	○
		6	3,940	
取水槽	干満帯	1	31,440	○
		2	22,790	
		3	28,360	
	気中帯	1	1,790	
		2	17,450	○
		3	2,200	
上記以外の構造物（安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。）	非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎	1	504	○
		2	120	
		3	420	
	燃料取替用水タンク基礎	1	1,150	
		2	2,220	○
		3	2,030	

凡例 ○：コアサンプル採取を選定した箇所

4.1.5 アルカリ骨材反応の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、アルカリ骨材反応の点検という観点から使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を選定した。

アルカリ骨材反応は、反応性骨材、水及びアルカリ分により反応が生じる事象であり、これに加えて、放射線についても反応の活性化の観点でその影響が懸念される。使用骨材（粗骨材、細骨材）については、表 4.1.5-1 に示すとおり、1986年及び1987年に実施したモルタルバー法により有害でないことを確認している。また、アルカリ分の主な供給元であるセメントについては、対象の部位の範囲においては使用材料に大きな違いがない。一方で、水分や、塩分等の外部から供給されるアルカリ分については、その使用環境によって異なってくることから、使用環境条件が最も厳しくなる箇所を選定することとした。

まず、放射線の観点で、放射線照射量が最も多い内部コンクリート（1次遮蔽壁）をコアサンプル採取箇所を選定した。次に、外部遮蔽壁、原子炉補助建屋（外壁）、取水槽、非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎及び燃料取替用水タンク基礎については、外部からのアルカリ供給源として塩分が考えられるため、特別点検における塩分浸透と同一箇所を、コアサンプル採取箇所を選定した。それ以外の部位について、発電所内各所の空気環境測定を実施した結果に基づき、水分の供給の観点で、対象の部位の範囲において湿度が最も大きな箇所をコアサンプル採取箇所を選定した（表 4.1.5-2）。

表 4.1.5-1 川内2号炉 モルタルバー法の試験結果

区分	骨材産地	試験方法	試験結果	判定基準	判定
			材令6ヶ月の膨張率(%)	有害な反応を起こす可能性のある材令6ヶ月の膨張率(%)	
粗骨材	砕石 (鹿児島県川内市*1川永野産)	JASS5N	0.008	0.10以上	無害
細骨材	砕砂 (鹿児島県川内市*1川永野産)	T-201*3	0.004		
	海砂 (佐賀県東松浦郡*2呼子町小川島産)	ASTM-C227*1	-0.031*5		

*1：現 薩摩川内市

*2：現 唐津市

*3：日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事」（1985）の「T-201 骨材の反応性試験方法（案）」

*4：「Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)」（1981）

*5：「-」記号は収縮側にあることを示す

表 4.1.5-2 川内 2 号炉 対象部位ごとの湿度測定の結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	コアサンプル採取 選定箇所	選定理由	測定期間の 平均湿度* (%)
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋外部	外部からのアルカリ 供給 (塩分)	—
	内部コンクリート	1 次遮蔽壁	放射線照射	—
	基礎マット	地下 4 階弁保護箱室	外部からの水分供給 (湿度)	56.2
原子炉補助建屋	外壁	屋外部	外部からのアルカリ 供給 (塩分)	—
	内壁及び床	中間建屋地下 3 階 海水供給管エリア	外部からの水分供給 (湿度)	58.4
	使用済み燃料プール	燃料取扱建屋地下 2 階 使用済み燃料ピット	外部からの水分供給 (湿度)	51.4
	基礎マット	地下 3 階通路上部	外部からの水分供給 (湿度)	55.1
タービン建屋	内壁及び床	地上 1 階タービン架台	外部からの水分供給 (湿度)	65.7
	基礎マット	地下 2 階タービン架台	外部からの水分供給 (湿度)	70.3
取水槽	海中帯	海水ポンプ室壁	外部からのアルカリ 供給 (塩分)	—
	干満帯	海水ポンプ室床	外部からのアルカリ 供給 (塩分)	—
	気中帯	海水ポンプ室壁	外部からのアルカリ 供給 (塩分)	—
上記以外の構造物 (安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎	埋設部基礎天端	外部からのアルカリ 供給 (塩分)	—
	燃料取替用水タンク基礎	屋外部基礎天端	外部からのアルカリ 供給 (塩分)	—

※測定期間：2019 年 11 月 1 日～2020 年 11 月 8 日

4.1.6 強度の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、強度の点検に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を選定した。強度低下につながる劣化要因は、熱、放射線照射、中性化、塩分浸透等多岐に渡り、合わせて、それぞれの劣化要因に影響を与える使用材料や使用環境条件が複雑に関係する。よって、強度のコアサンプル採取箇所は、対象構造物の範囲において表 4.1.6-1 に示すように、複数ある劣化要因をなるべく網羅できるよう、対象の部位ごとに異なる劣化要因の点検箇所を選定した。

表 4.1.6-1 対象構造物、対象の部位、劣化要因の影響有無、点検箇所選定

対象のコンクリート構造物	対象の部位	劣化要因							備 考
		熱	放射線照射	中性化	塩分浸透	アルカリ骨材反応	機械振動	凍結融解	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	○	○	○	●	○	-	△	
	内部コンクリート	○	○	○	-	○	-	△	
	基礎マット	-	-	○	-	○	-	△	
原子炉補助建屋	外壁	○	○	○	●	○	-	△	
	内壁及び床	○	○	○	-	○	○	△	
	使用済み燃料プール	-	-	○	-	○	-	△	
	基礎マット	-	-	○	-	○	-	△	
タービン建屋	内壁及び床	-	-	○	-	○	○	△	タービン梁台にて実施
	基礎マット	-	-	○	-	○	-	△	
取水槽	河中帯	-	-	○	○	○	-	△	
	干満帯	-	-	○	○	○	-	△	
	気中帯	-	-	○	○	○	-	△	
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎	-	-	○	○	○	-	△		
燃料取替用水タンク基礎	-	-	○	○	○	-	△		

凡例：○：影響あり △：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象でない事象 -：影響なし ●：コア採取箇所として考慮した劣化要因

なお、強度・機能に影響を及ぼすこととなると判断し、原子炉補助建屋（内壁及び床）については、以下の理由により代替部位で強度を確認している。

①原子炉補助建屋（内壁及び床）

当該部位においては、非常用ディーゼル発電設備基礎の機械振動の影響を踏まえて対象の部位として選定している。劣化状況評価においては、非常用ディーゼル発電設備基礎ボルト周辺部が評価点となるが、基礎ボルト周辺部はボルト等が干渉するため、強度・機能に影響を及ぼすこととなり、コアサンプルが採取できない。そのため、コアサンプルが採取可能な非常用ディーゼル発電設備基礎の一般部で代替した。一般部は、基礎ボルト周辺部と同じ使用材料で、基礎ボルト周辺部に準じた使用環境条件（機械振動）の箇所であることから、代替させることができると判断した。

4.2 選定結果

以下に、点検項目ごとに選定した点検箇所を示す（表 4.2-1～5）。

表 4.2-1 強度の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋外部
	内部コンクリート	1次遮蔽壁
	基礎マット	地下4階弁保護箱室
原子炉補助建屋	外壁	屋外部
	内壁及び床	B非常用ディーゼル発電設備基礎
	使用済み燃料プール	燃料取扱建屋地下1階使用済み燃料ピット
	基礎マット	地下3階通路上部
タービン建屋	内壁及び床	地上1階タービン架台
	基礎マット	地下2階タービン架台
取水槽	海中帯	海水ポンプ室壁、取水ピット床
	干満帯	海水ポンプ室床
	気中帯	海水ポンプ室壁
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎		埋設部基礎天端
燃料取替用水タンク基礎		配管トレンチ内

表 4.2-2 遮蔽能力の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋上部
	内部コンクリート	1次遮蔽壁
原子炉補助建屋	外壁	地下2階通路部
	内壁及び床	地下2階通路部

表 4.2-3 中性化深さの点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋内部（アニュラス）
	内部コンクリート	Aループ室外部壁
	基礎マット	地下3階通路部
原子炉補助建屋	外壁	中間建屋地下2階通路部
	内壁及び床	地下1階ホウ酸タンクポンプ室
	使用済み燃料プール	燃料取扱建屋地下1階使用済み燃料ピット
	基礎マット	地下3階通路上部
タービン建屋	内壁及び床	地上1階タービン架台
	基礎マット	地下2階タービン架台
取水槽	海中帯	海水ポンプ室壁、取水ピット床
	干満帯	海水ポンプ室床
	気中帯	海水ポンプ室壁
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎		埋設部基礎天端
燃料取替用水タンク基礎		配管トレンチ内

表 4.2-4 塩分浸透の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋外部
原子炉補助建屋	外壁	屋外部
取水槽	海中帯	海水ポンプ室壁、取水ピット床
	干満帯	海水ポンプ室床
	気中帯	海水ポンプ室壁
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎		埋設部基礎天端
燃料取替用水タンク基礎		屋外部基礎天端

表 4.2-5 アルカリ骨材反応の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋外部
	内部コンクリート	1次遮蔽壁
	基礎マット	地下4階弁保護箱室
原子炉補助建屋	外壁	屋外部
	内壁及び床	中間建屋地下3階海水供給管エリア
	使用済み燃料プール	燃料取扱建屋地下2階使用済み燃料ピット
	基礎マット	地下3階通路上部
タービン建屋	内壁及び床	地上1階タービン架台
	基礎マット	地下2階タービン架台
取水槽	海中帯	海水ポンプ室壁
	干満帯	海水ポンプ室床
	気中帯	海水ポンプ室壁
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎		埋設部基礎天端
燃料取替用水タンク基礎		屋外部基礎天端

5. 点検結果

点検結果を表 5-1～5 に示す。

表 5-1 川内 2 号炉 強度の点検結果

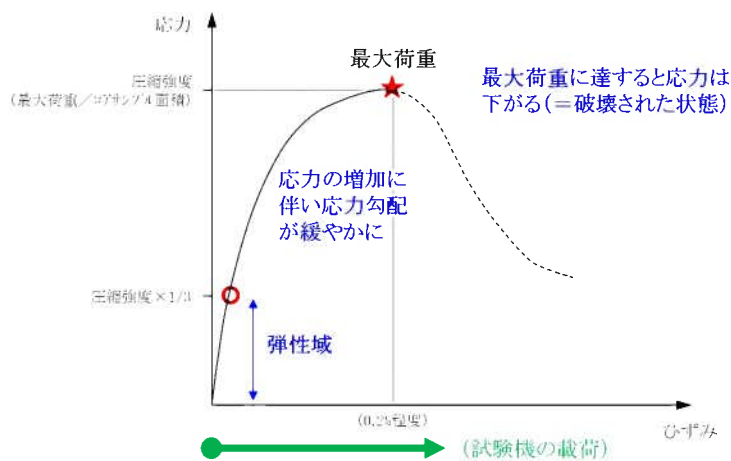
対象のコンクリート構造物		対象の部位	点検結果 ^{※1}
			平均圧縮強度 ^{※2} (N/mm ²)
原子炉格納施設等		外部遮蔽壁	47.0
		内部コンクリート	46.8
		基礎マット	51.0
原子炉補助建屋		外壁	49.3
		内壁及び床	29.9
		使用済み燃料プール	43.0
		基礎マット	40.8
タービン建屋		内壁及び床	36.7
		基礎マット	43.0
取水槽		海中帯	38.7
		干満帯	32.0
		気中帯	43.7
安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物	原子炉格納施設内	上記「原子炉格納施設等」に含む	
	原子炉補助建屋内	上記「原子炉補助建屋」に含む	
	タービン建屋内 (タービン架台を含む。)	上記「タービン建屋」に含む	
上記以外の構造物（安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。）		非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎	41.8
		燃料取替用水タンク基礎	31.0

※1 点検年月日：2022年2月21日～2022年9月20日

※2 コアサンプル3本の平均

(参考)

コンクリート構造物の特別点検における『強度』については、コンクリートの圧縮時の応力-ひずみ関係図に基づき、試験機が最大荷重を示す時の応力 (=圧縮強度) を点検結果としている。



コンクリートの圧縮時の応力-ひずみ関係図

表 5-2 川内 2 号炉 遮蔽能力の点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果 ^{※1}	
		平均単位容積質量 ^{※2} (g/cm ³)	平均乾燥単位容積質量 ^{※2} (g/cm ³)
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	2.321	2.223
	内部コンクリート	2.358	2.238
原子炉補助建屋	外壁	2.313	2.207
	内壁及び床	2.340	2.233

※1 点検年月日：2022年2月21日～2022年9月20日

※2 コアサンプル3本の平均値

表 5-3 川内 2 号炉 中性化深さの点検結果

対象のコンクリート構造物		対象の部位	点検結果※1
			平均中性化深さ※2 (mm)
原子炉格納施設等		外部遮蔽壁	19.2
		内部コンクリート	1.3
		基礎マット	33.4
原子炉補助建屋		外壁	43.3
		内壁及び床	5.3
		使用済み燃料プール	14.8
		基礎マット	30.6
タービン建屋		内壁及び床	20.4
		基礎マット	4.0
取水槽		海中帯	0.5
		干満帯	0.0
		気中帯	11.8
安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物	原子炉格納施設内	上記「原子炉格納施設等」に含む	
	原子炉補助建屋内	上記「原子炉補助建屋」に含む	
	タービン建屋内 (タービン架台を含む。)	上記「タービン建屋」に含む	
上記以外の構造物(安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)		非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎	4.0
		燃料取替用水タンク基礎	3.4

※1 点検年月日：2022年8月16日～2022年9月20日

※2 コアサンプル3本の平均値

表 5-4 川内 2 号炉 塩分浸透の点検結果

対象のコンクリート 構造物	対象の部位 表面からの 深さ (mm)	点検結果 ^{※1}					
		平均塩化物イオン濃度 (%) ^{※2}					
		0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
原子炉補助建屋	外壁	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
取水槽	海中帯	0.35	0.31	0.19	0.13	0.09	0.08
	干満帯	0.43	0.31	0.25	0.19	0.14	0.09
	気中帯	0.08	0.09	0.07	0.06	0.06	0.06
上記以外の構造物 (安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	燃料取替用水タンク基礎	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

※1 点検年月日：2022年8月16日～2022年9月20日

※2 コアサンプル3本の平均値

表 5-5 川内 2 号炉 アルカリ骨材反応の点検結果

対象のコンクリート構造物		対象の部位	点検結果 [※]
			実体顕微鏡観察結果
原子炉格納施設等		外部遮蔽壁	反応性なし
		内部コンクリート	反応性なし
		基礎マット	反応性なし
原子炉補助建屋		外壁	反応性なし
		内壁及び床	反応性なし
		使用済み燃料プール	反応性なし
		基礎マット	反応性なし
タービン建屋		内壁及び床	反応性なし
		基礎マット	反応性なし
取水槽		海中帯	反応性なし
		干満帯	反応性なし
		気中帯	反応性なし
安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物	原子炉格納施設内	上記「原子炉格納施設等」に含む	
	原子炉補助建屋内	上記「原子炉補助建屋」に含む	
	タービン建屋内 (タービン架台を含む。)	上記「タービン建屋」に含む	
上記以外の構造物（安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。）		非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎	反応性なし
		燃料取替用水タンク基礎	反応性なし

※ 点検年月日：2022年2月21日～2022年9月20日

6. まとめ

コンクリート構造物の特別点検においては、これまでの高経年化技術評価では確認していなかった範囲を含め、使用材料及び使用環境条件が最も厳しい箇所から採取したコアサンプルにより、強度、遮蔽能力、中性化深さ、塩分浸透及びアルカリ骨材反応の5つの点検項目について点検を実施した。

この点検により、実施時点（運転開始より約40年経過時点）において、コンクリートの健全性に影響を与える劣化は認められなかった。また、得られた結果を用いて、20年間の運転期間延長を踏まえた劣化状況評価を行っている。

点検箇所選定のために実施した環境測定や非破壊試験により、様々なデータを得ることができた。これらのデータを、今後の保全活動に有効に活用していきたい。

また点検結果は、これまで実施してきた高経年化技術評価による点検結果に対して、大きな違いはみられなかった。

【参考文献】

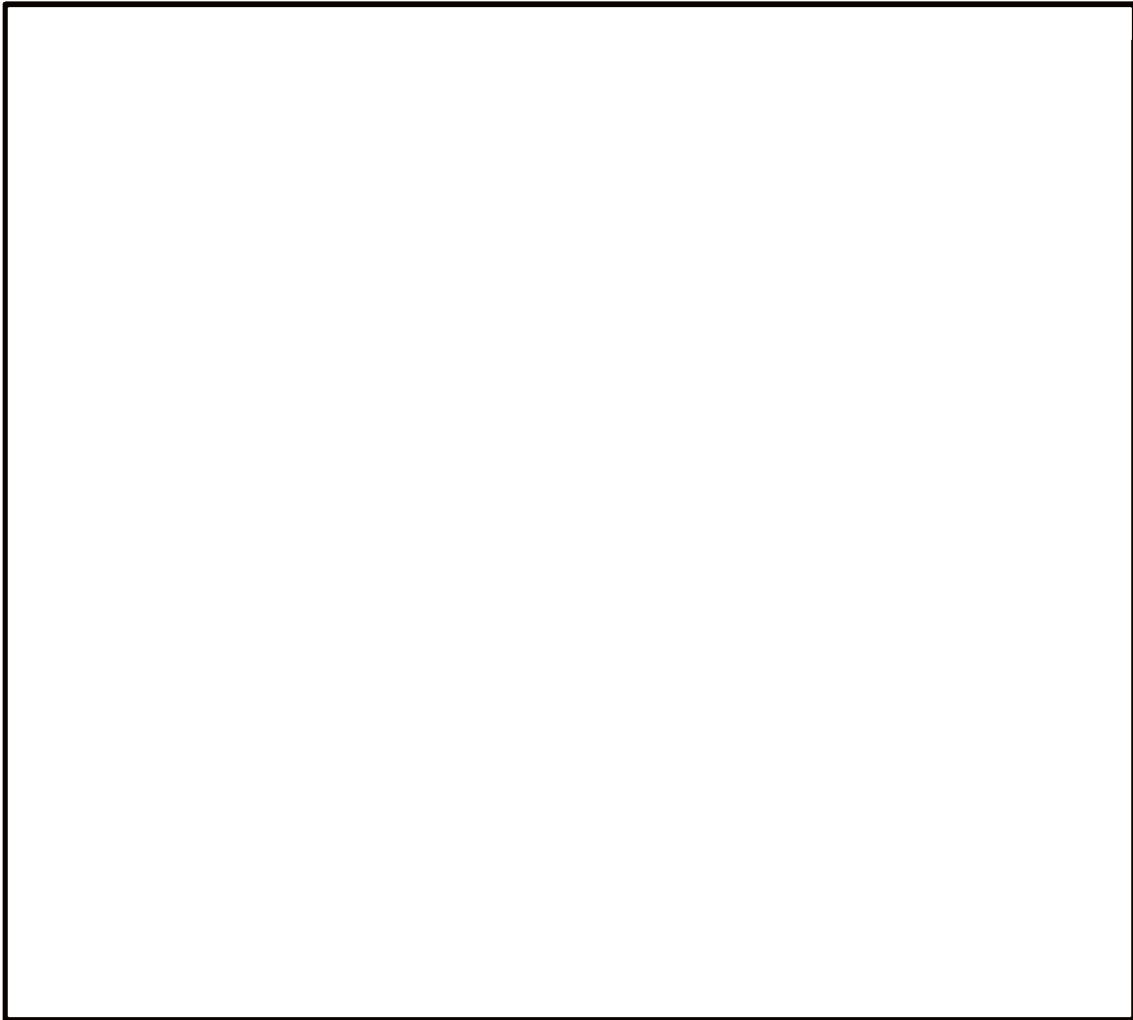
- 1) 実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド（原管P発第1306197号 改正令和2年3月31日 原規規発第20033110号 原子力規制委員会決定）
- 2) 米澤敏男ほか、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）「既存構造物における遮蔽コンクリートの乾燥単位容積質量試験方法の検討（その4 コア供試体による乾燥単位容積質量試験方法の検討）」（2015年9月）
- 3) 黒岩秀介ほか、日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）「コア供試体による乾燥単位容積質量試験方法の検討」（2021年9月）
- 4) 原子力規制庁「安全研究成果報告 運転期間延長認可制度及び高経年化対策制度に係る技術的知見の整備に関する研究」（RREP-2018-1004）
- 5) Katayama et al. 「Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan」（2004）
Katayama et al. 「Late-Expansive ASR due to Imported Sand and Local Aggregates in Okinawa Island, Southwestern Japan」（2008）
- 6) 株式会社太平洋コンサルタント HP
(<https://www.taiheiyo-c.co.jp/cement/asr/>)
- 7) ASRに関する対策検討委員会「アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン（案）」（平成20年3月）
- 8) 森永繁「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート構造物の寿命予測に関する研究（東京大学学位論文）」（1986）

別 紙

- 別紙 1. 特別点検実施箇所
- 別紙 2. 遮蔽能力における非破壊試験箇所
- 別紙 3. 空気環境測定箇所
- 別紙 4. 中性化深さにおける非破壊試験実施箇所
- 別紙 5. 塩分量測定箇所
- 別紙 6. 塩分量測定の考え方

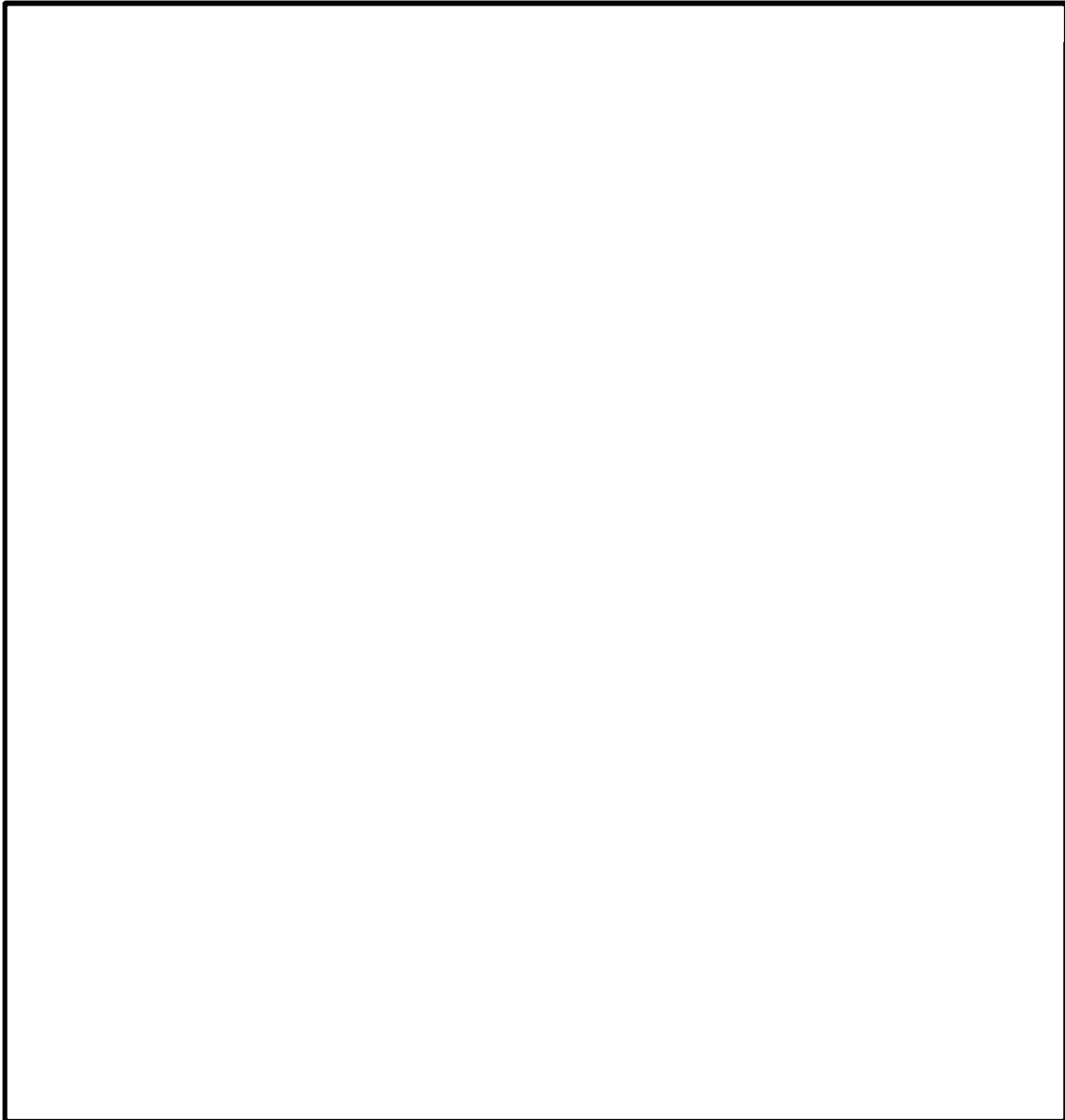
別紙 1. 特別点検実施箇所

- 凡例 (断面方向) (垂直方向)
- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |



図－別紙 1－1 川内 2 号炉 特別点検実施箇所
(原子炉格納施設等)

- 凡例 (断面方向) (垂直方向)
- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |



図－別紙 1－2 川内 2 号炉 特別点検実施箇所
(原子炉格納施設等、原子炉補助建屋)

凡例 (断面方向) (垂直方向)

- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |

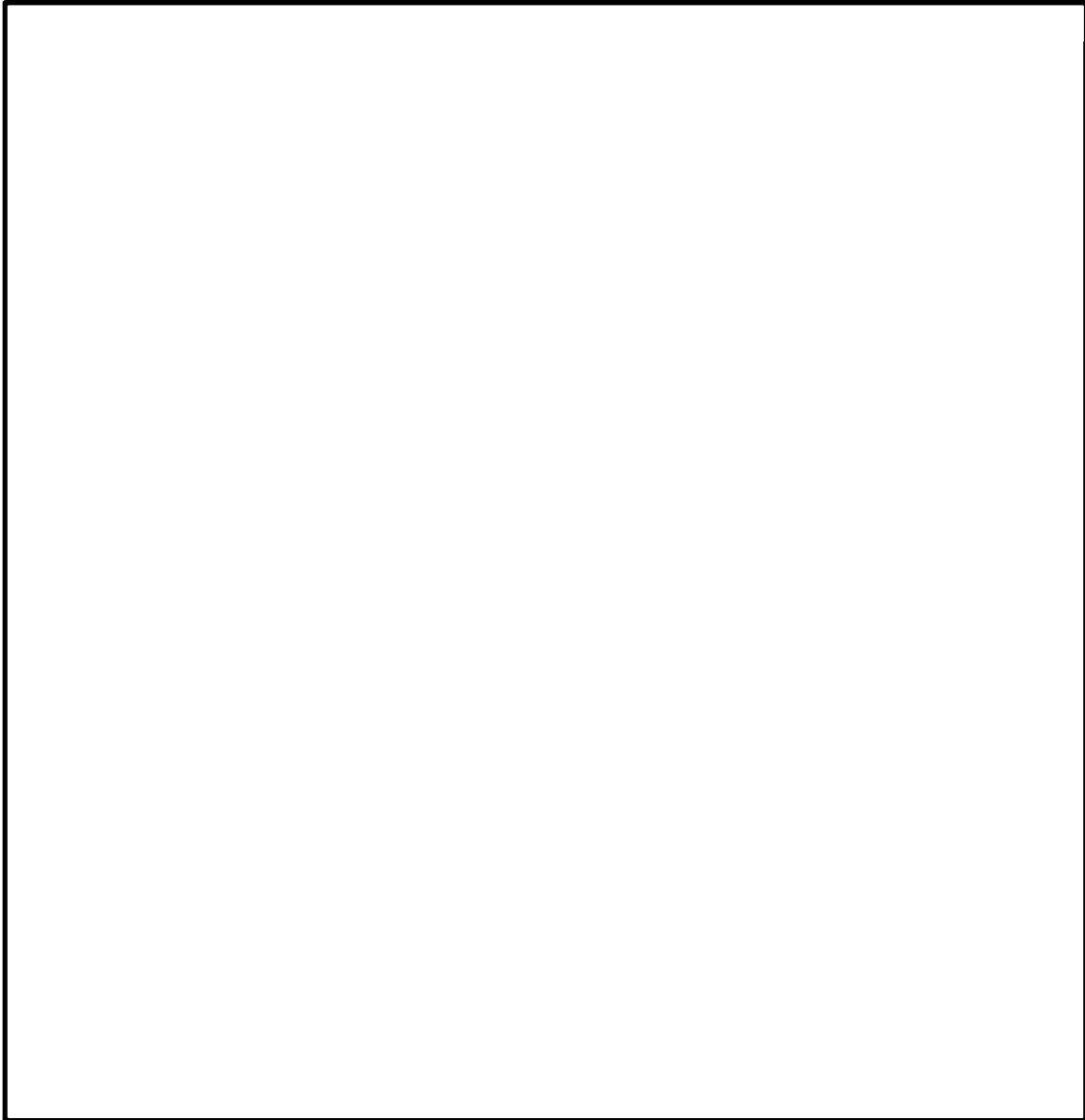
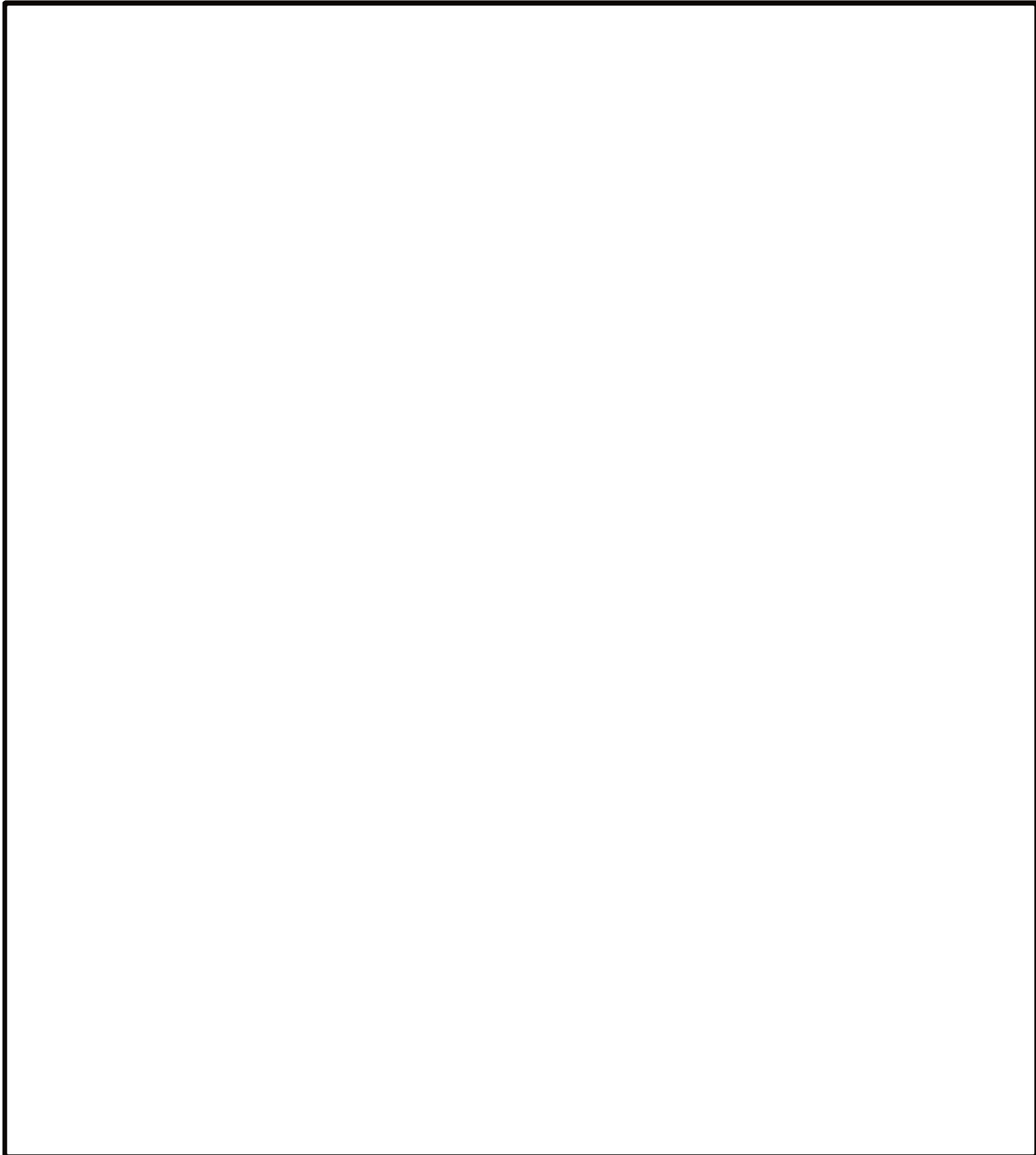


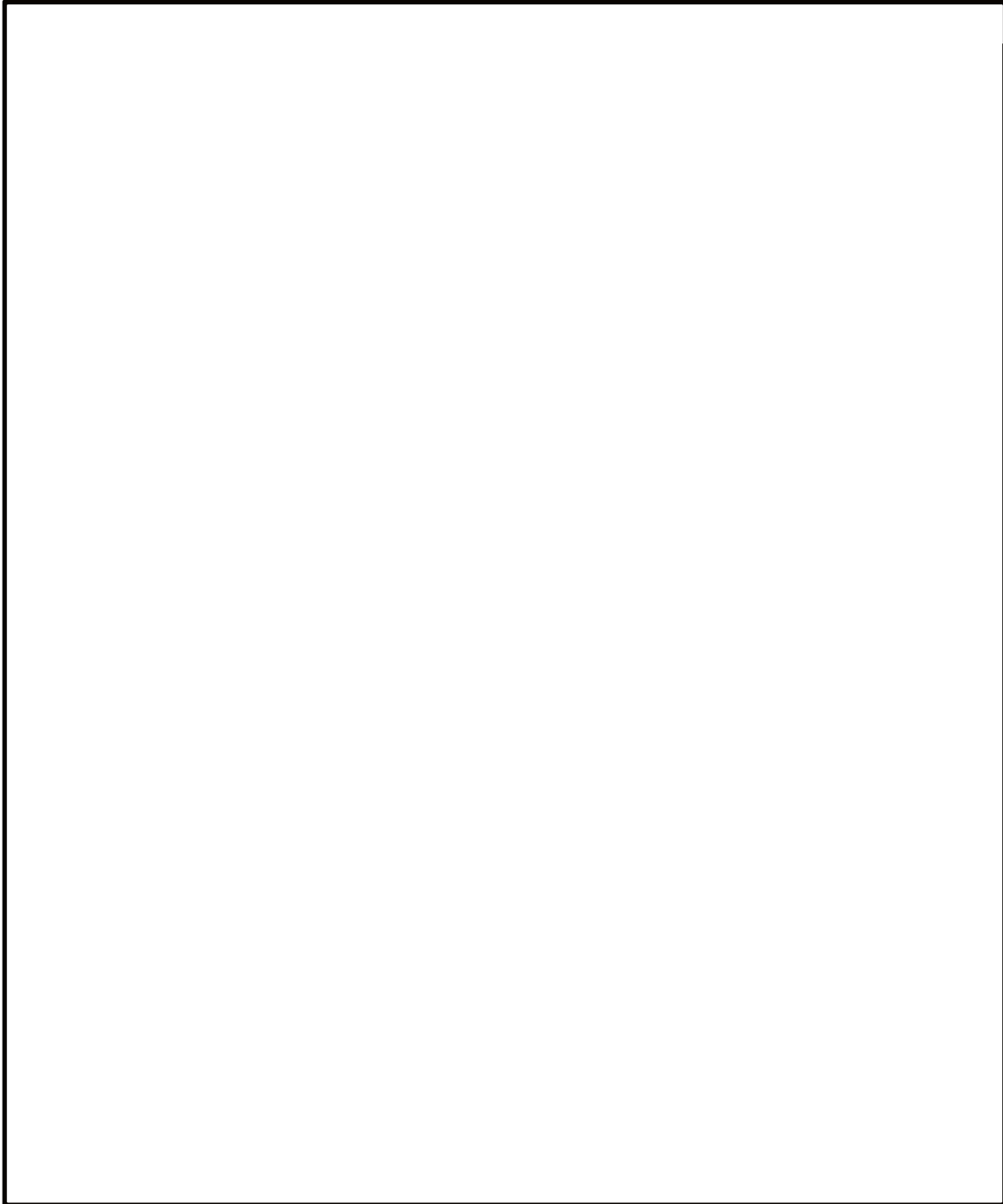
図-別紙1-3 川内2号炉 特別点検実施箇所
(タービン建屋)

- 凡例 (断面方向) (垂直方向)
- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |



図－別紙 1－4 川内 2 号炉 特別点検実施箇所
(原子炉格納施設等、原子炉補助建屋)

- 凡例 (断面方向) (垂直方向)
- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |



図一別紙 1 - 5 川内 2 号炉 特別点検実施箇所
(原子炉格納施設等、原子炉補助建屋、タービン建屋)

- 凡例 (断面方向) (垂直方向)
- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |

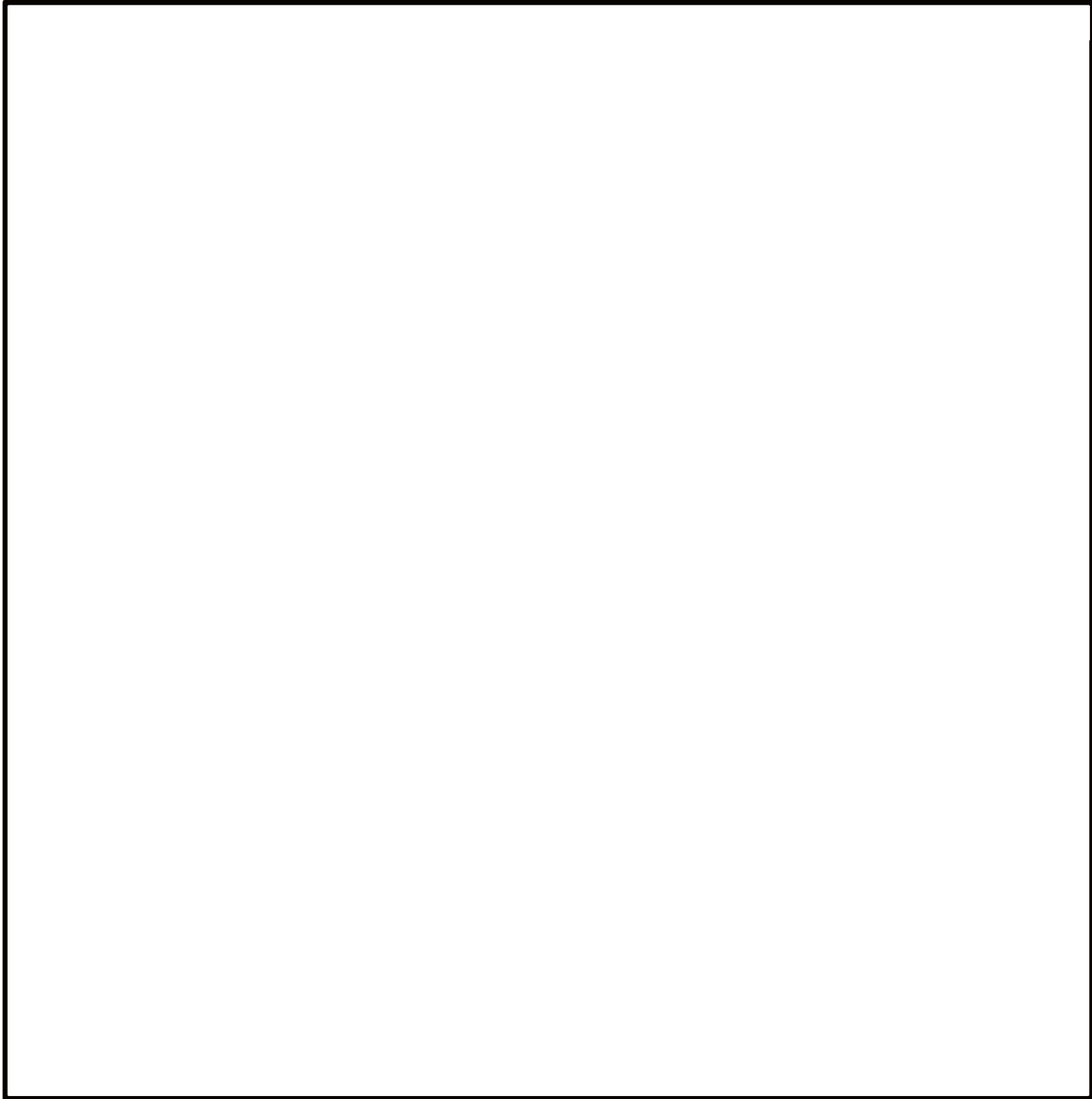
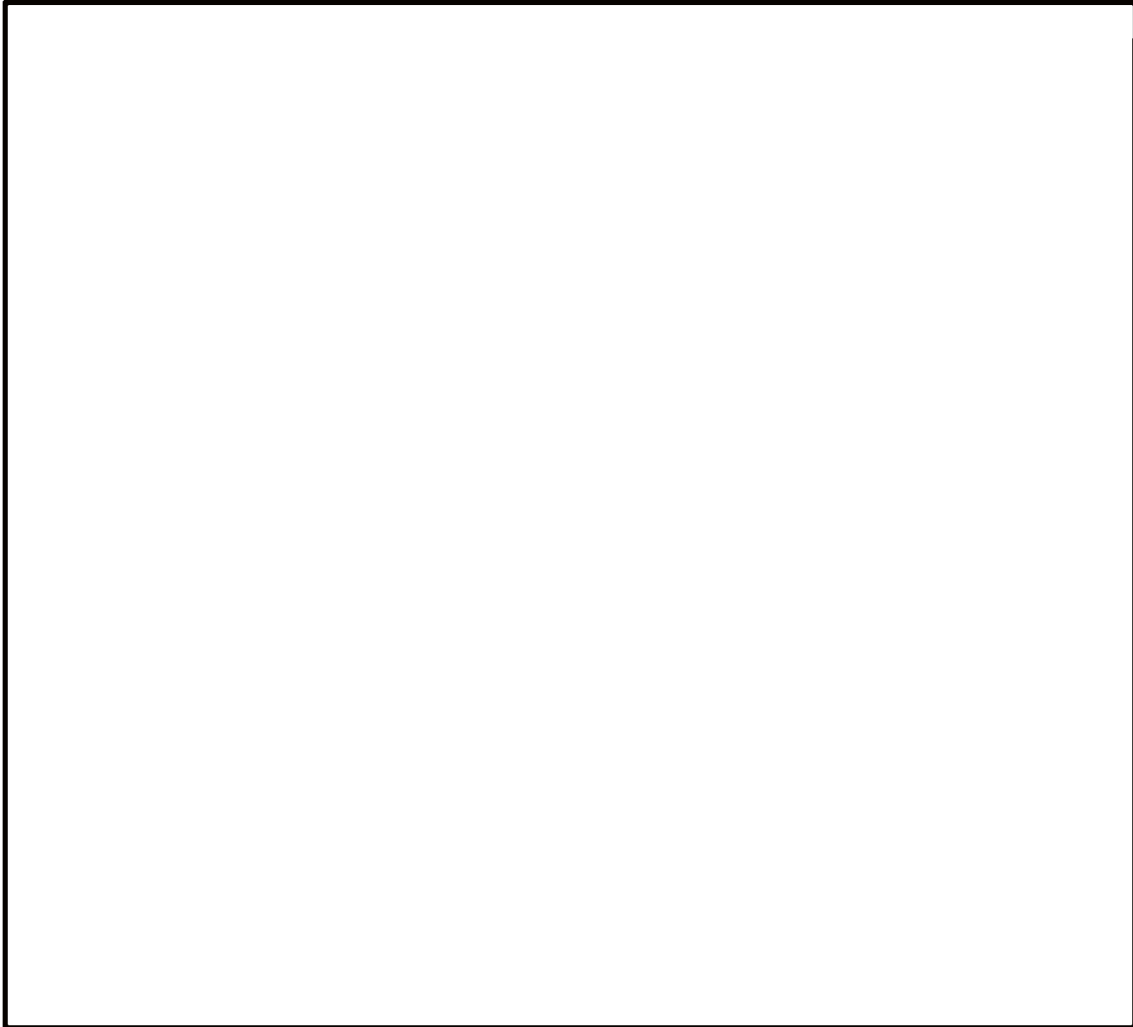


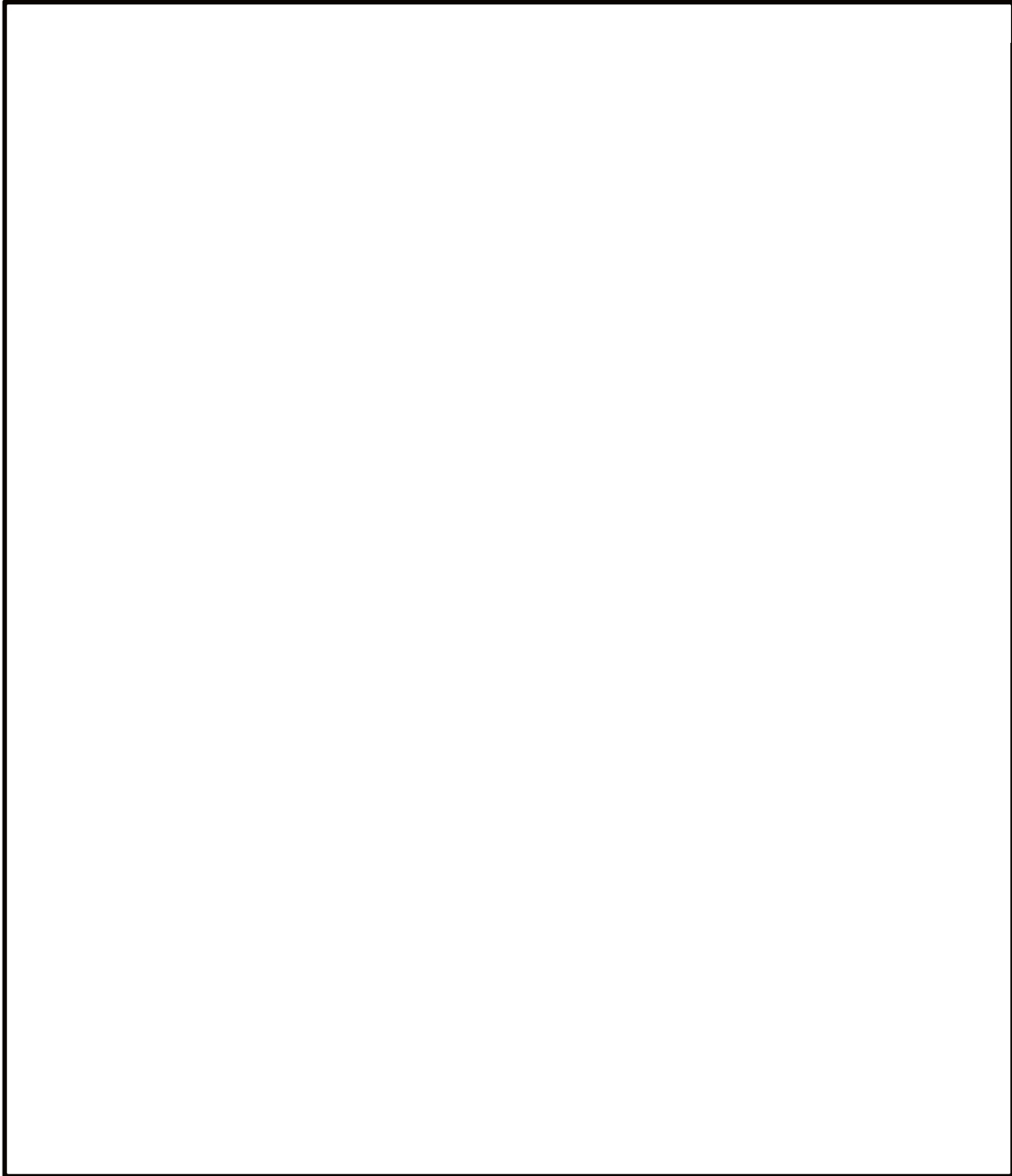
図-別紙1-6 川内2号炉 特別点検実施箇所
(原子炉補助建屋)

- 凡例 (断面方向) (垂直方向)
- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |



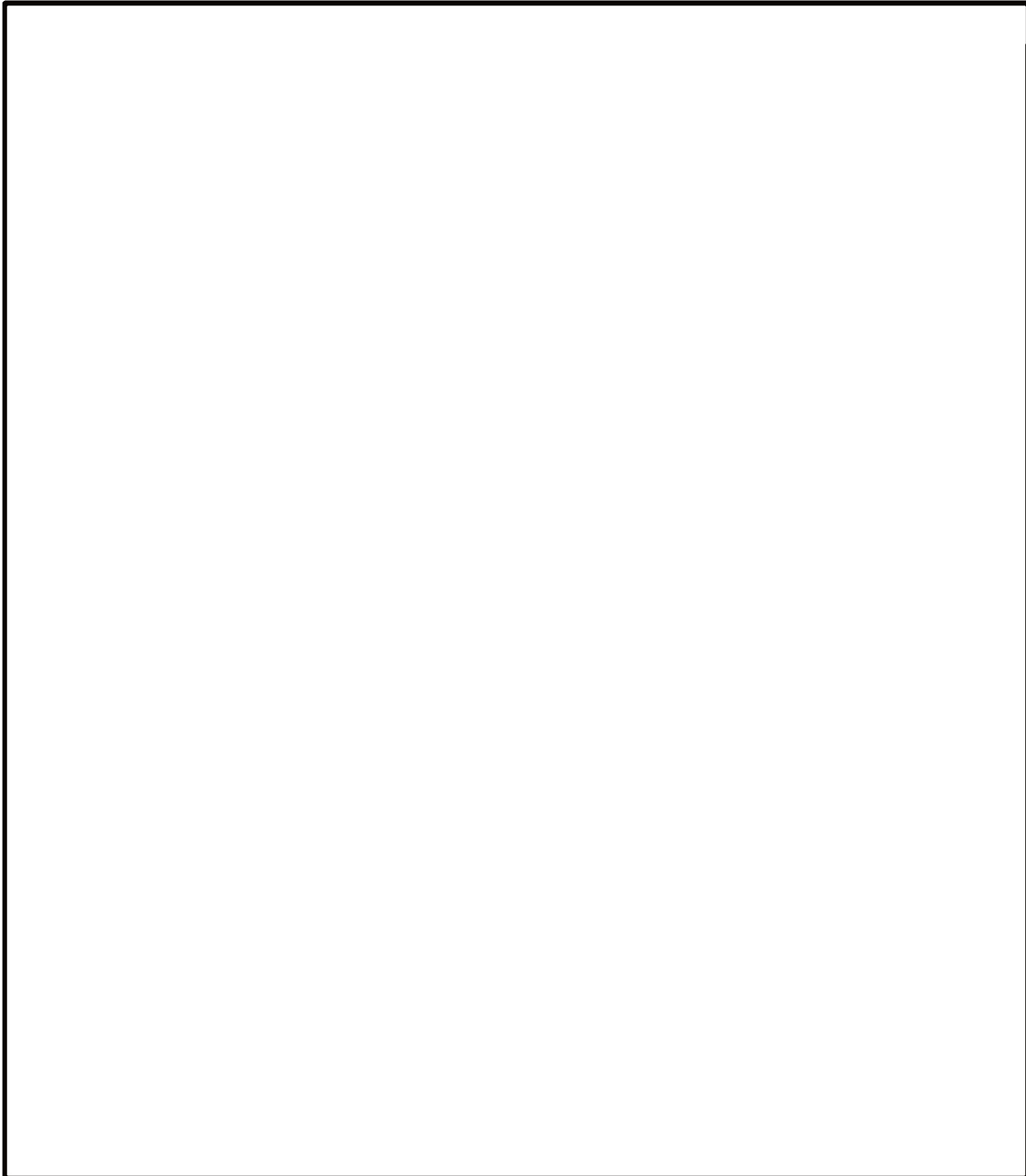
図一別紙 1 - 7 川内 2 号炉 特別点検実施箇所
(タービン建屋)

- 凡例 (断面方向) (垂直方向)
- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |



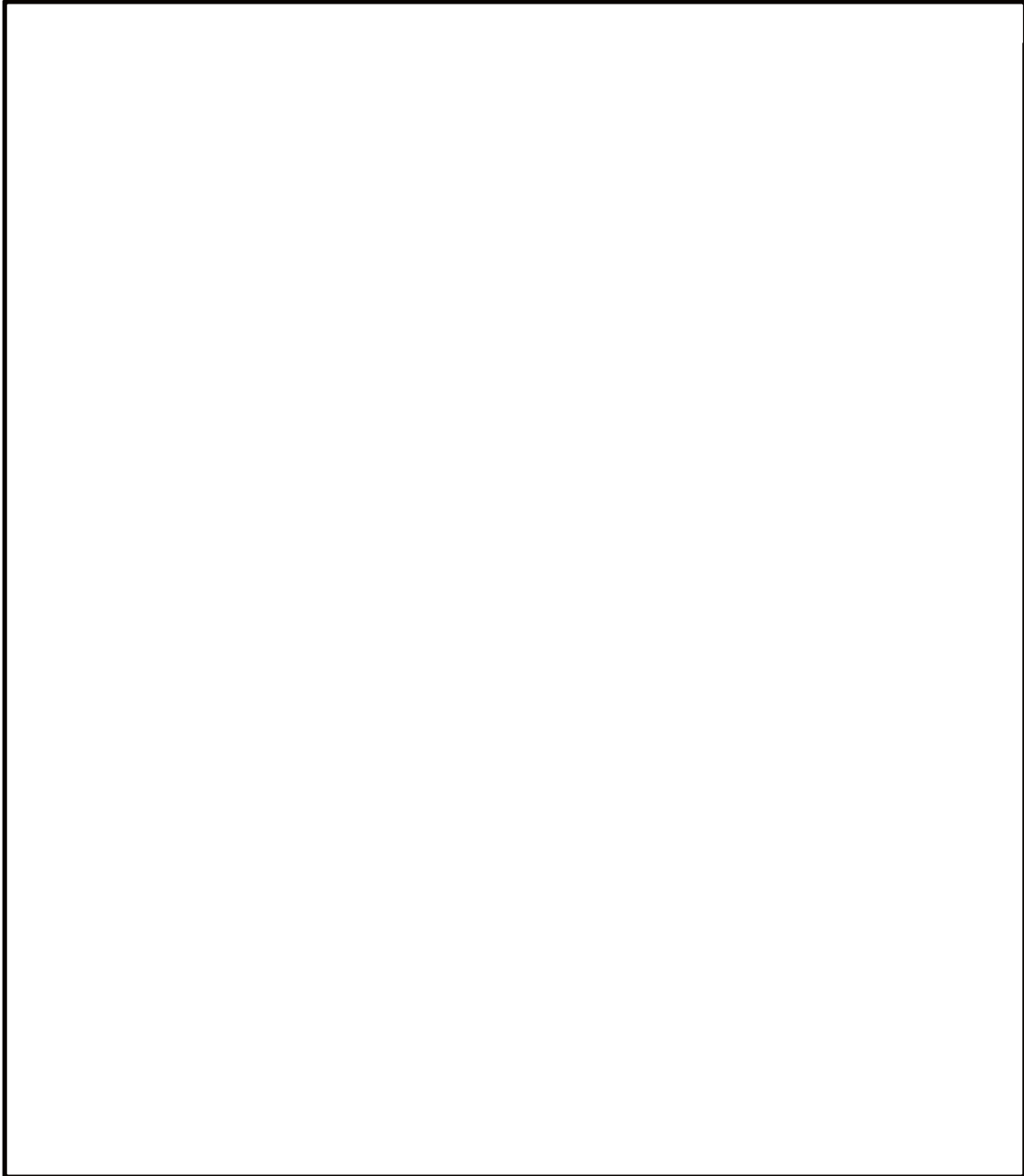
図一別紙 1 - 8 川内 2 号炉 特別点検実施箇所
(原子炉補助建屋)

- 凡例 (断面方向) (垂直方向)
- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |



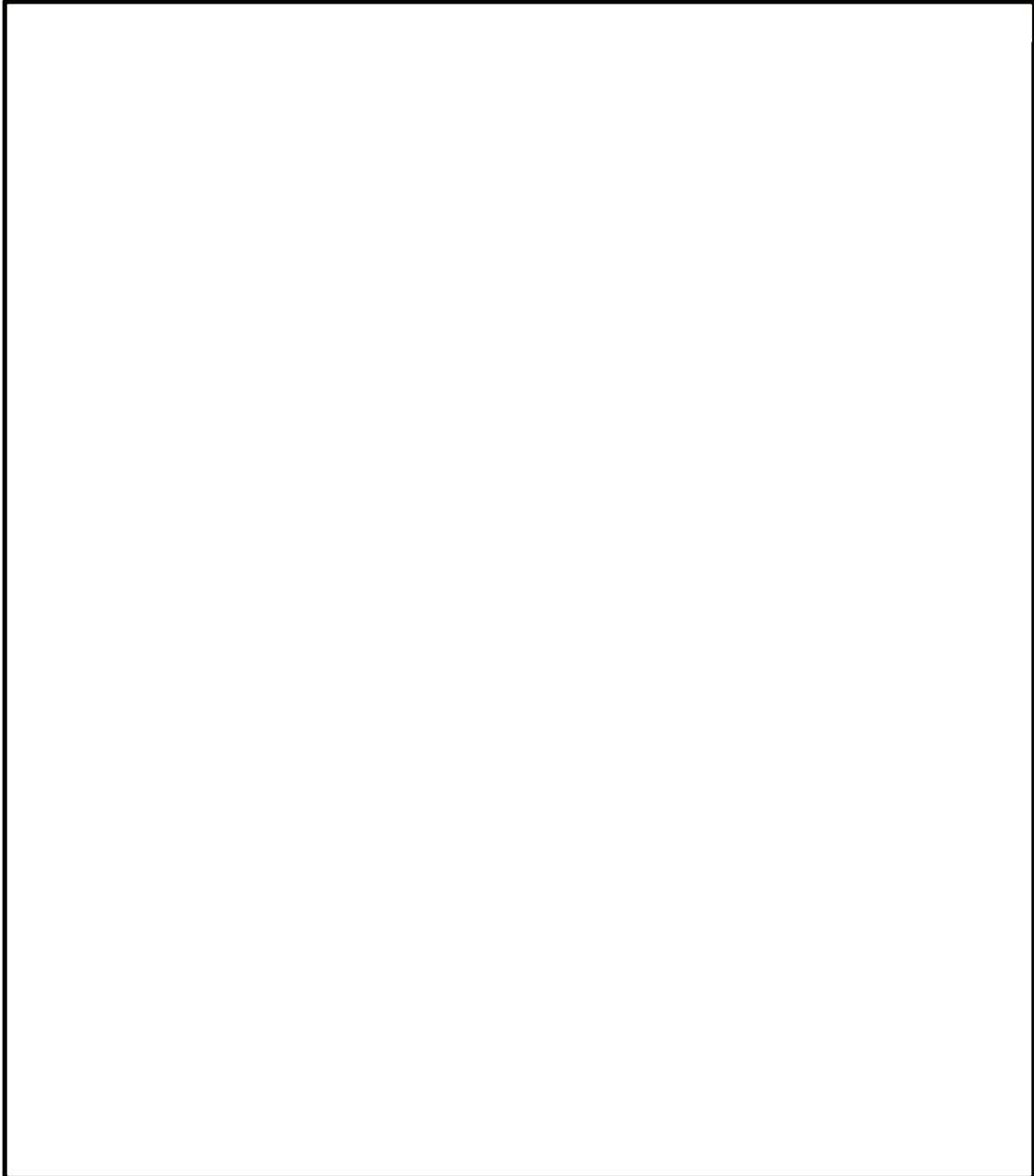
図一別紙 1 - 9 川内 2 号炉 特別点検実施箇所
(原子炉格納施設等)

- 凡例 (断面方向) (垂直方向)
- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |



図－別紙1－10 川内2号炉 特別点検実施箇所
(原子炉格納施設等)

- 凡例 (断面方向) (垂直方向)
- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |



図－別紙1－11 川内2号炉 特別点検実施箇所
(原子炉格納施設等)

凡例 (断面方向) (垂直方向)

- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |

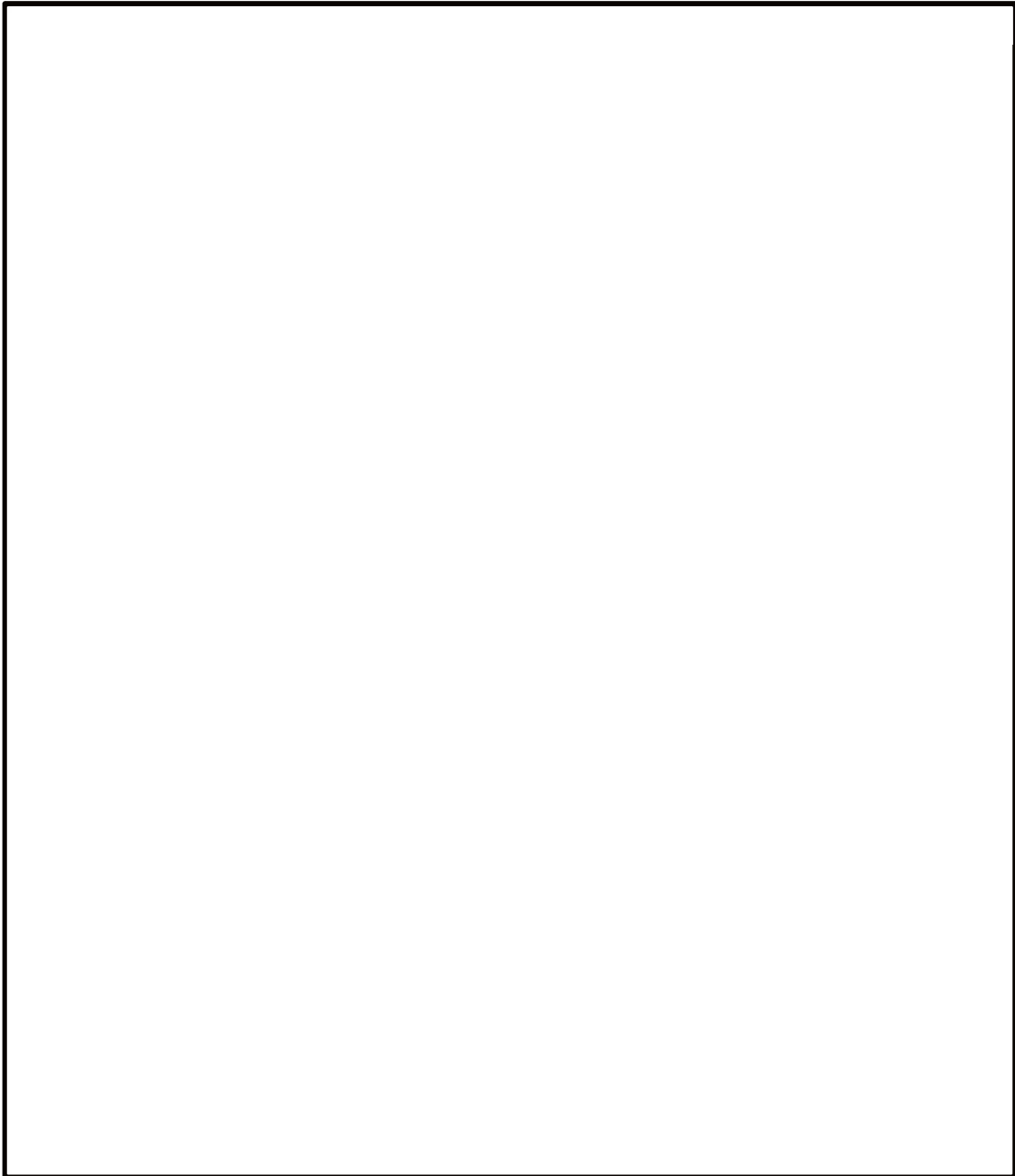


図-別紙1-12 川内2号炉 特別点検実施箇所
(取水槽 (海中帯、干満帯、気中帯))

凡例 (断面方向) (垂直方向)

- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |

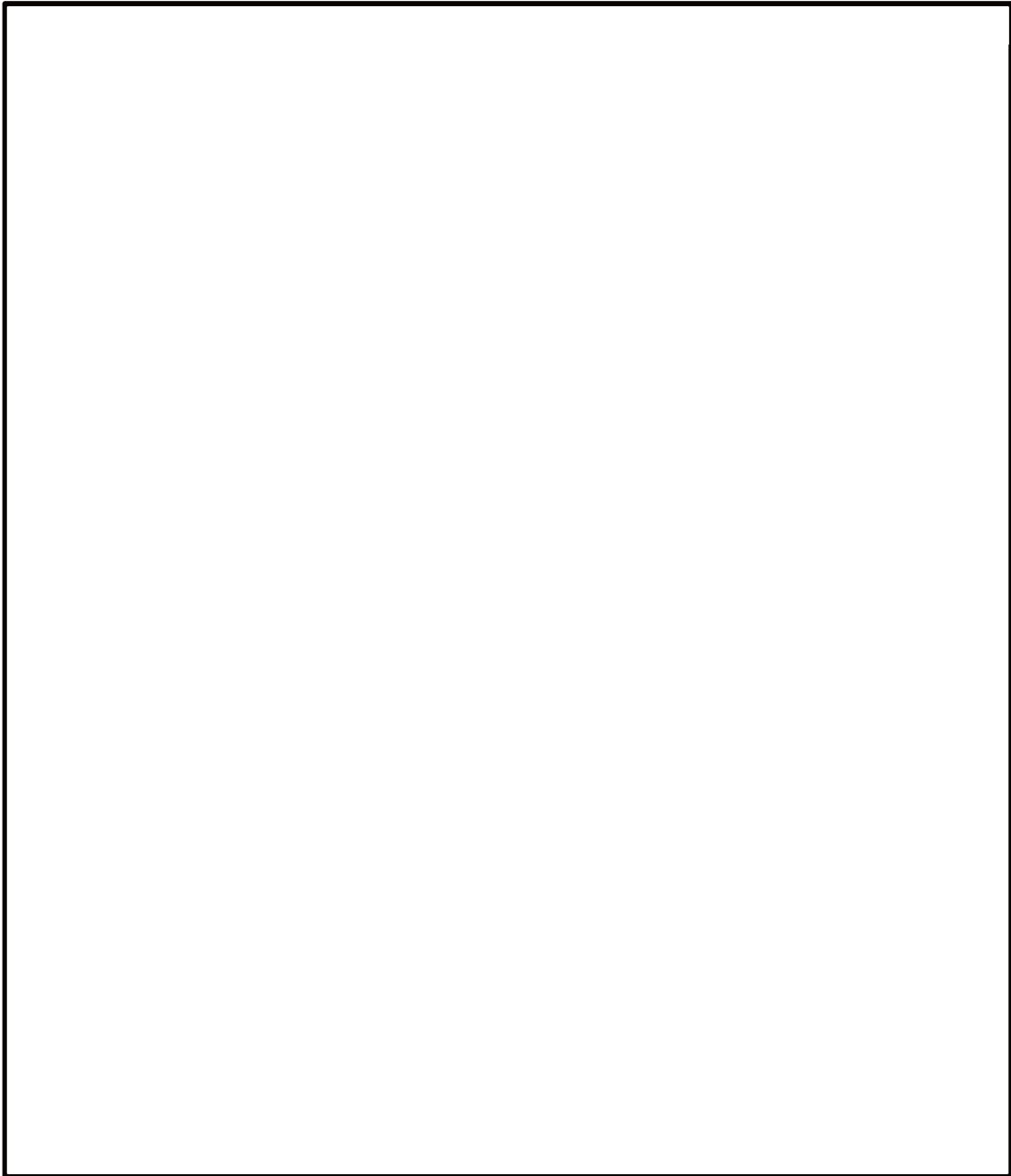


図-別紙1-13 川内2号炉 特別点検実施箇所
(取水槽 (海中帯、干満帯、気中帯))

- 凡例 (断面方向) (垂直方向)
- | | | |
|---|---|----------------------|
| ▼ | ● | : 強度コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 遮蔽能力コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 中性化深さコアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : 塩分浸透コアサンプル採取箇所 |
| ▼ | ● | : アルカリ骨材反応コアサンプル採取箇所 |

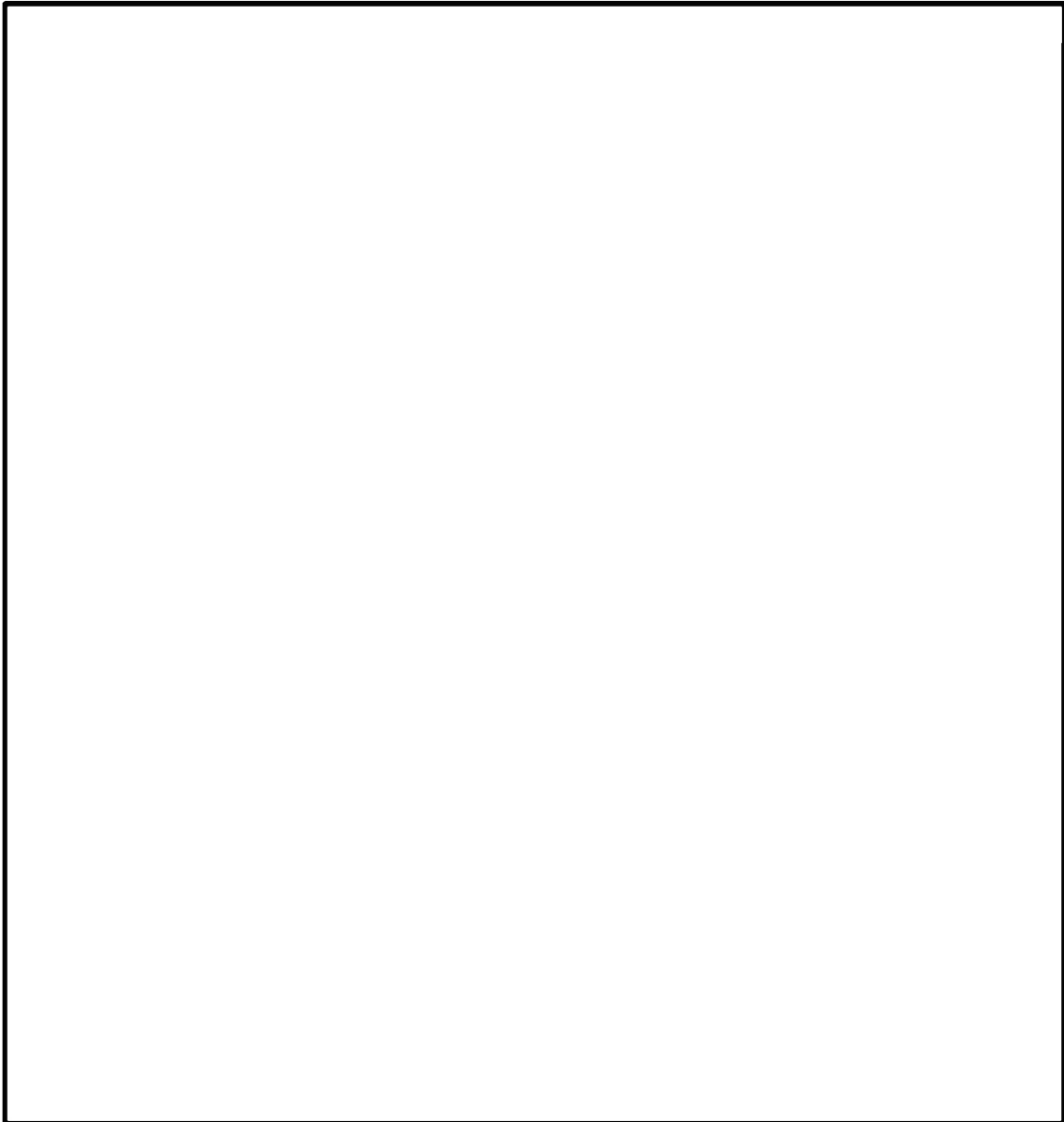
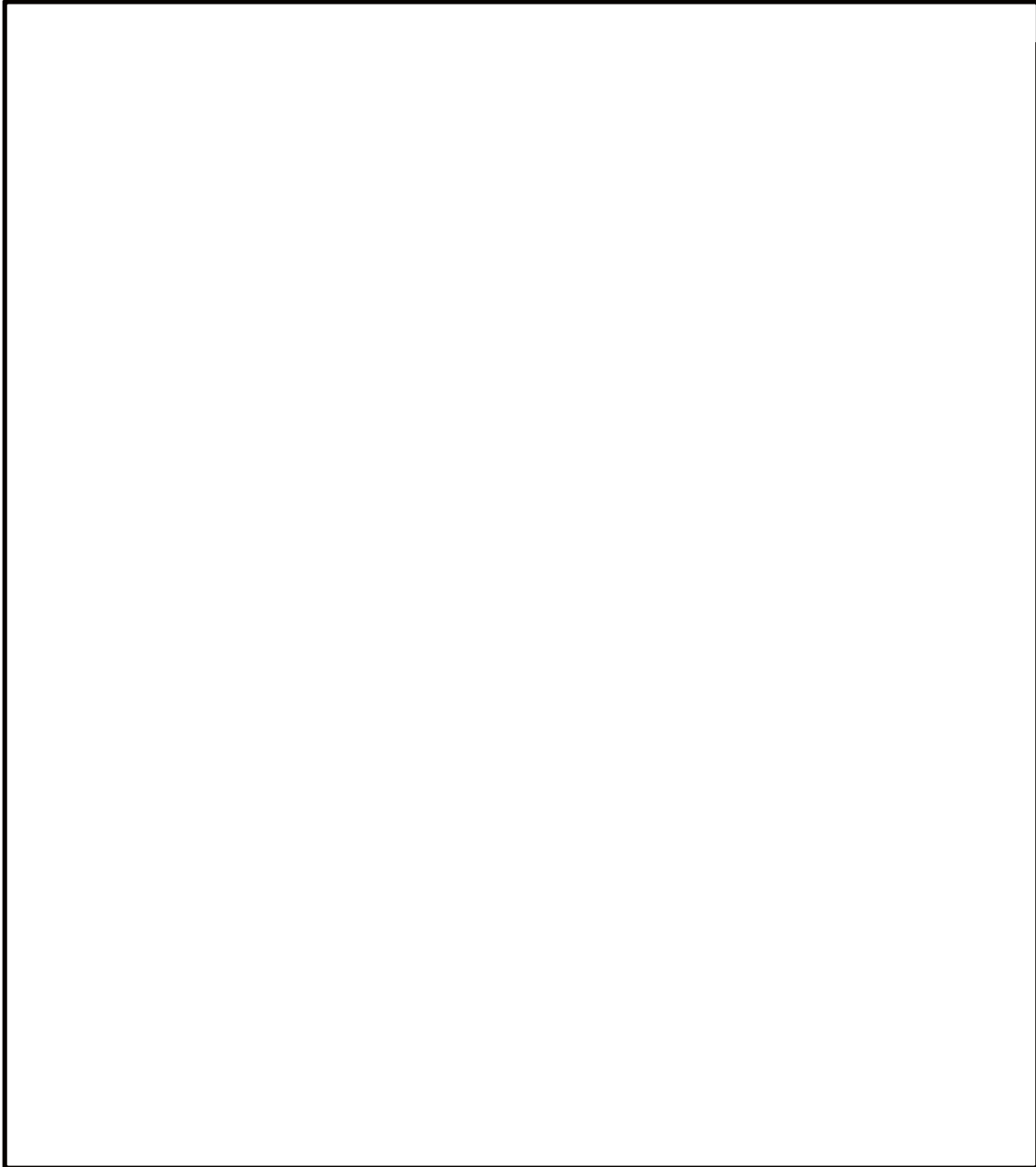


図-別紙1-14 川内2号炉 特別点検実施箇所
(非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎、燃料取替用水タンク基礎)

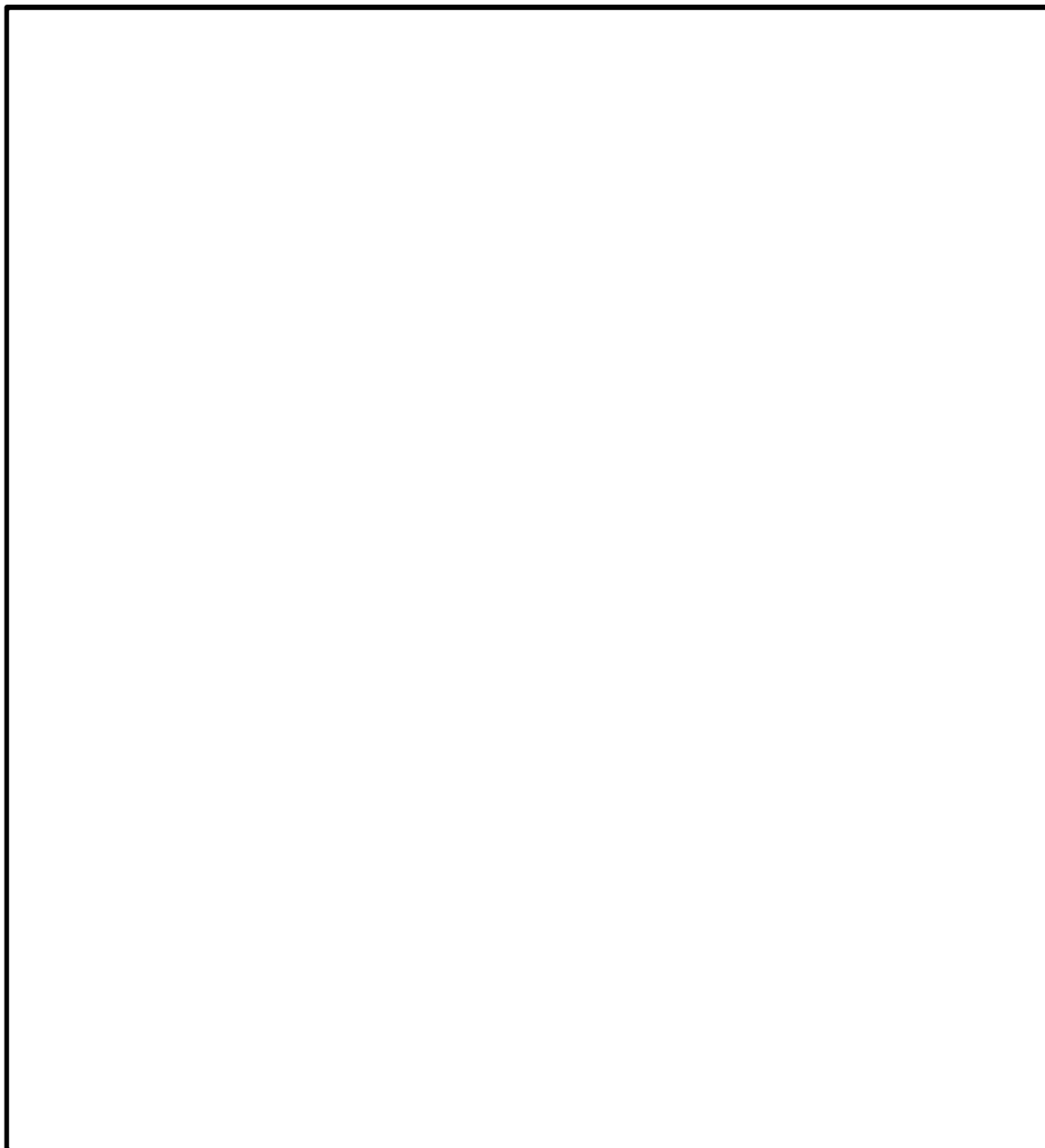
別紙2. 遮蔽能力における非破壊試験実施箇所

凡例 (断面方向) (垂直方向)
▼ ● : 非破壊試験実施箇所



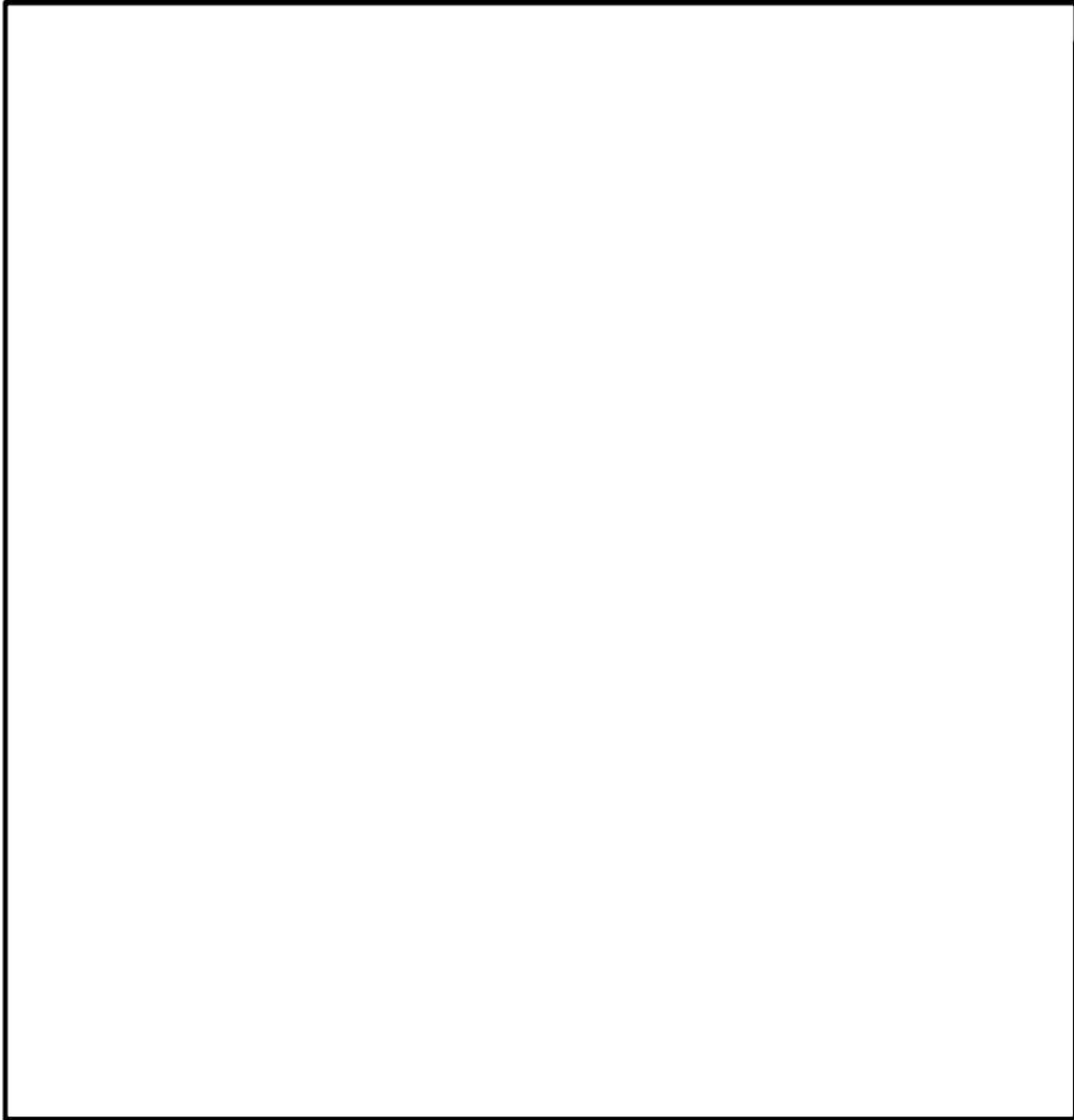
図－別紙2－1 川内2号炉 非破壊試験実施箇所（遮蔽能力）
（原子炉格納施設等）

凡例 (断面方向) (垂直方向)
▼ ● : 非破壊試験実施箇所



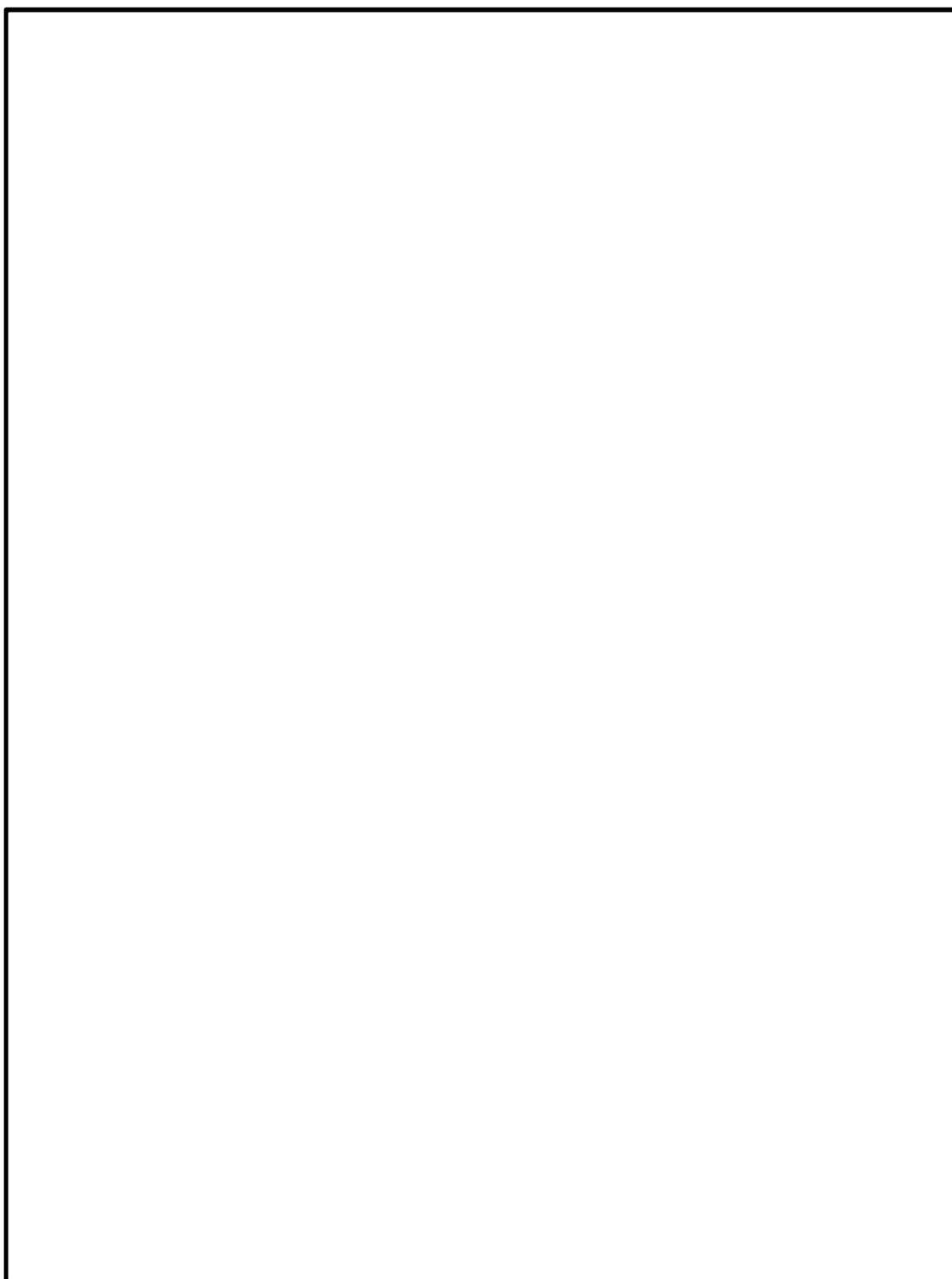
図一別紙 2 - 2 川内 2 号炉 非破壊試験実施箇所 (遮蔽能力)
(原子炉補助建屋)

凡例 (断面方向) (垂直方向)
▼ ● : 非破壊試験実施箇所

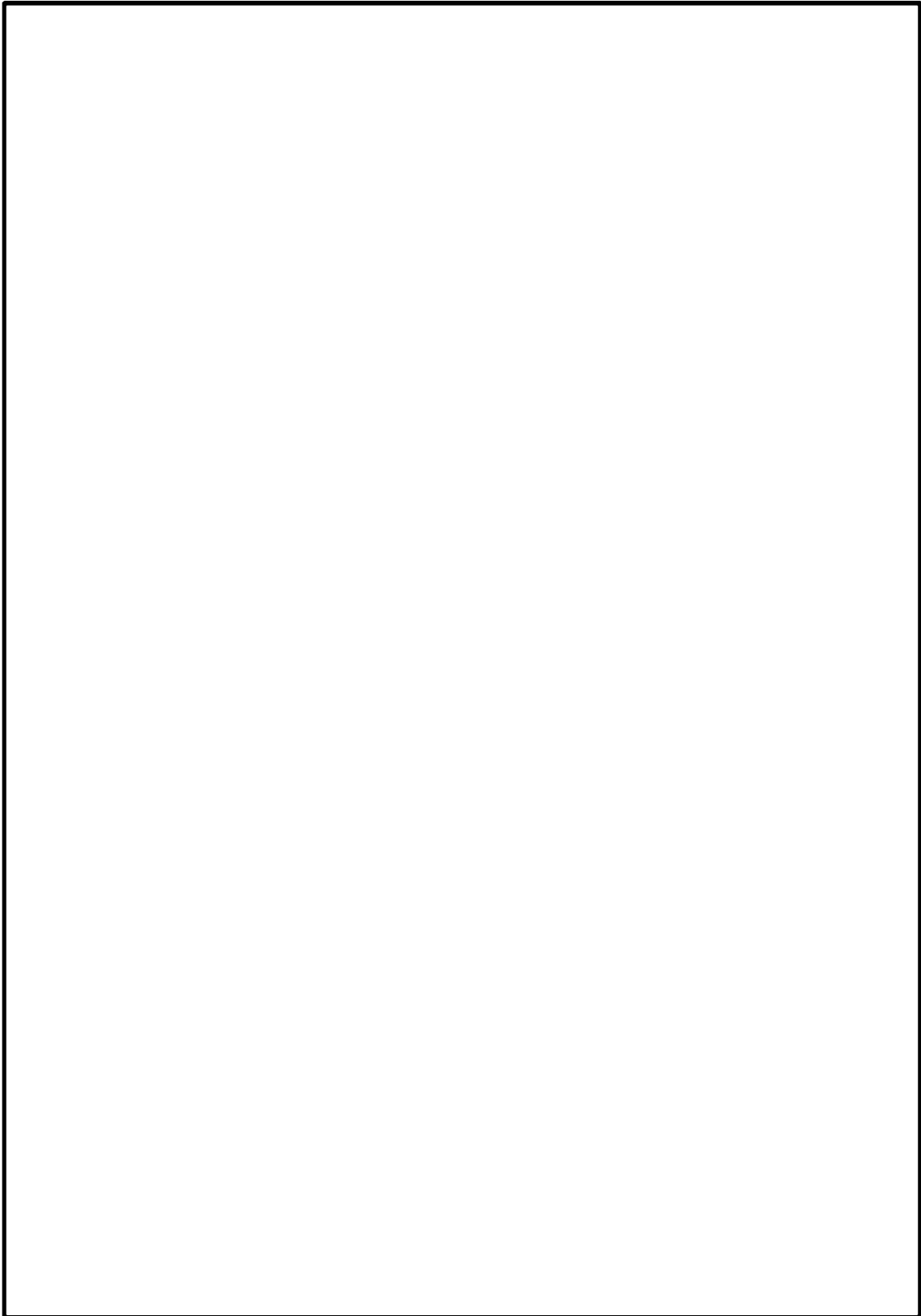


図一別紙2-3 川内2号炉 非破壊試験実施箇所(遮蔽能力)
(原子炉格納施設等)

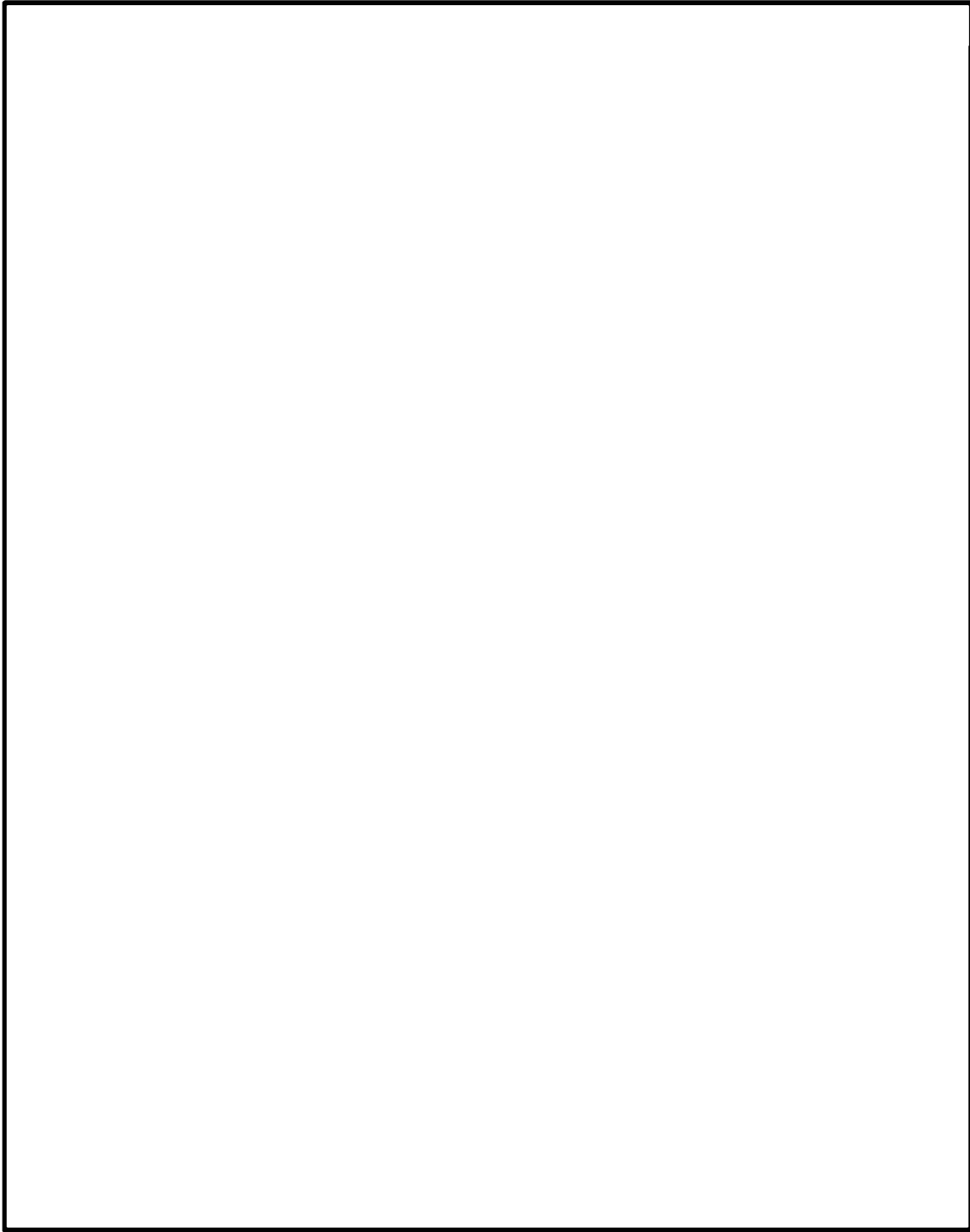
別紙 3. 空気環境測定箇所



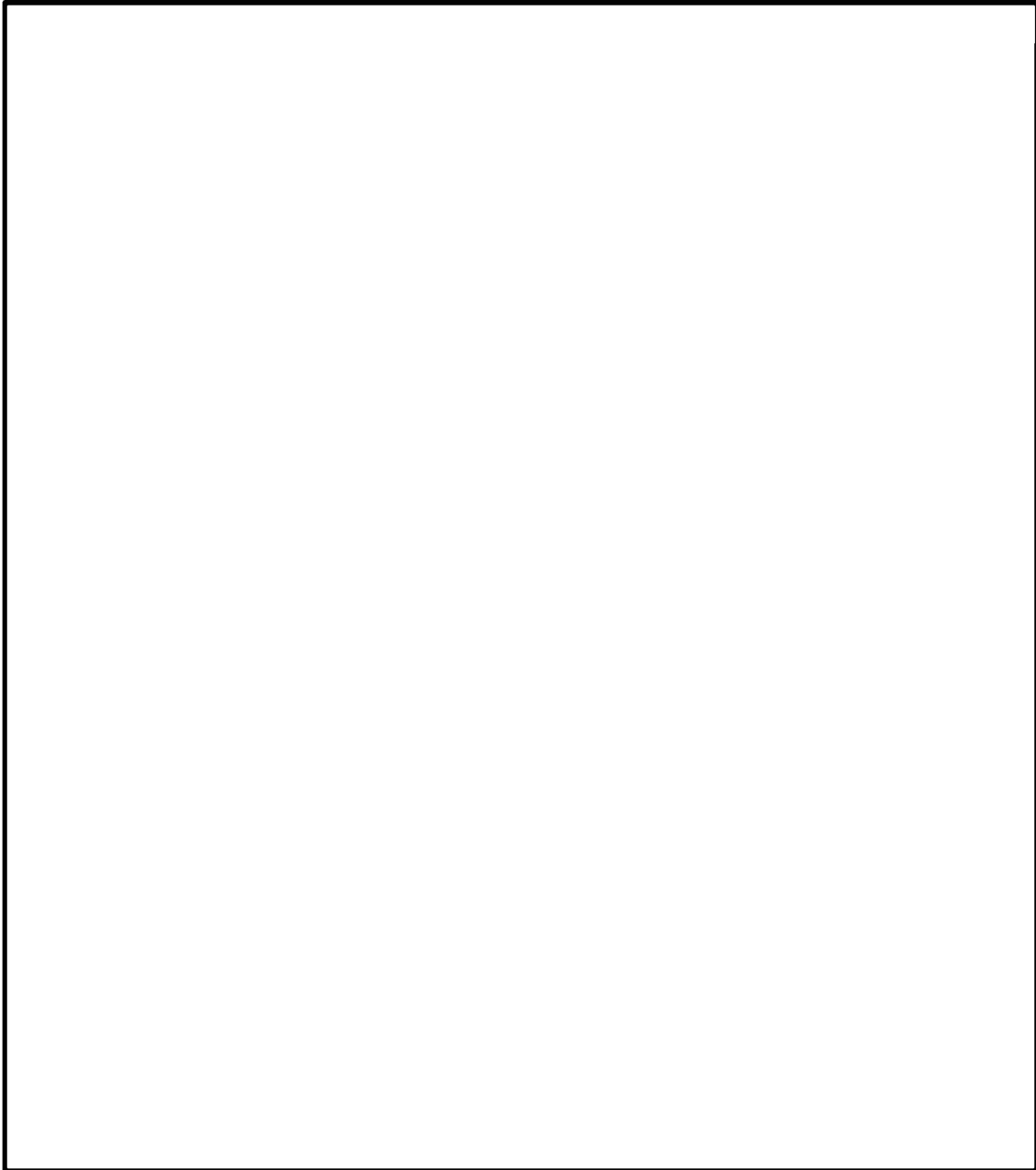
図－別紙 3－1 川内 2 号炉 空気環境測定箇所
(原子炉格納施設等、原子炉補助建屋)



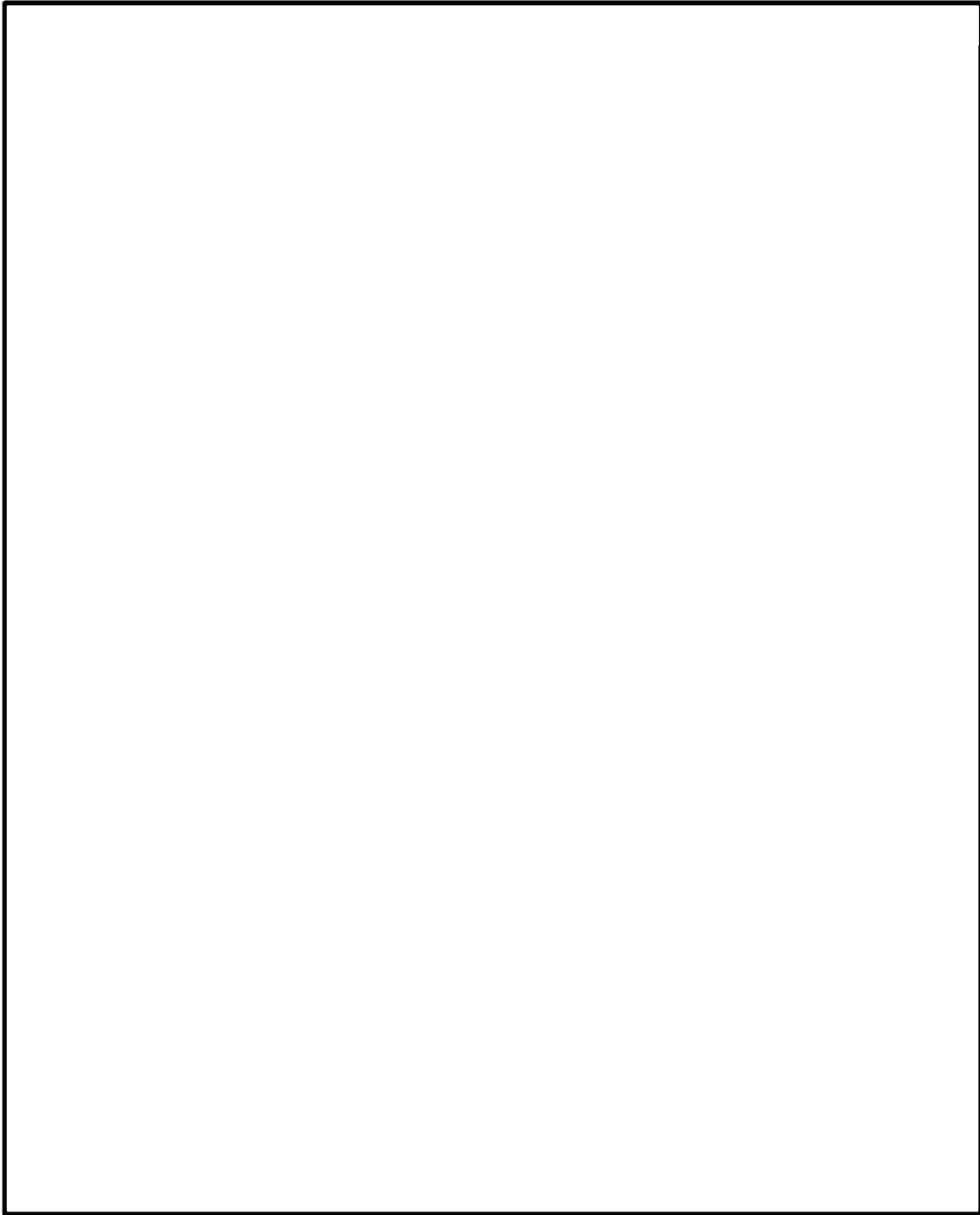
図－別紙 3－2 川内 2 号炉 空気環境測定箇所
(原子炉格納施設等、原子炉補助建屋)



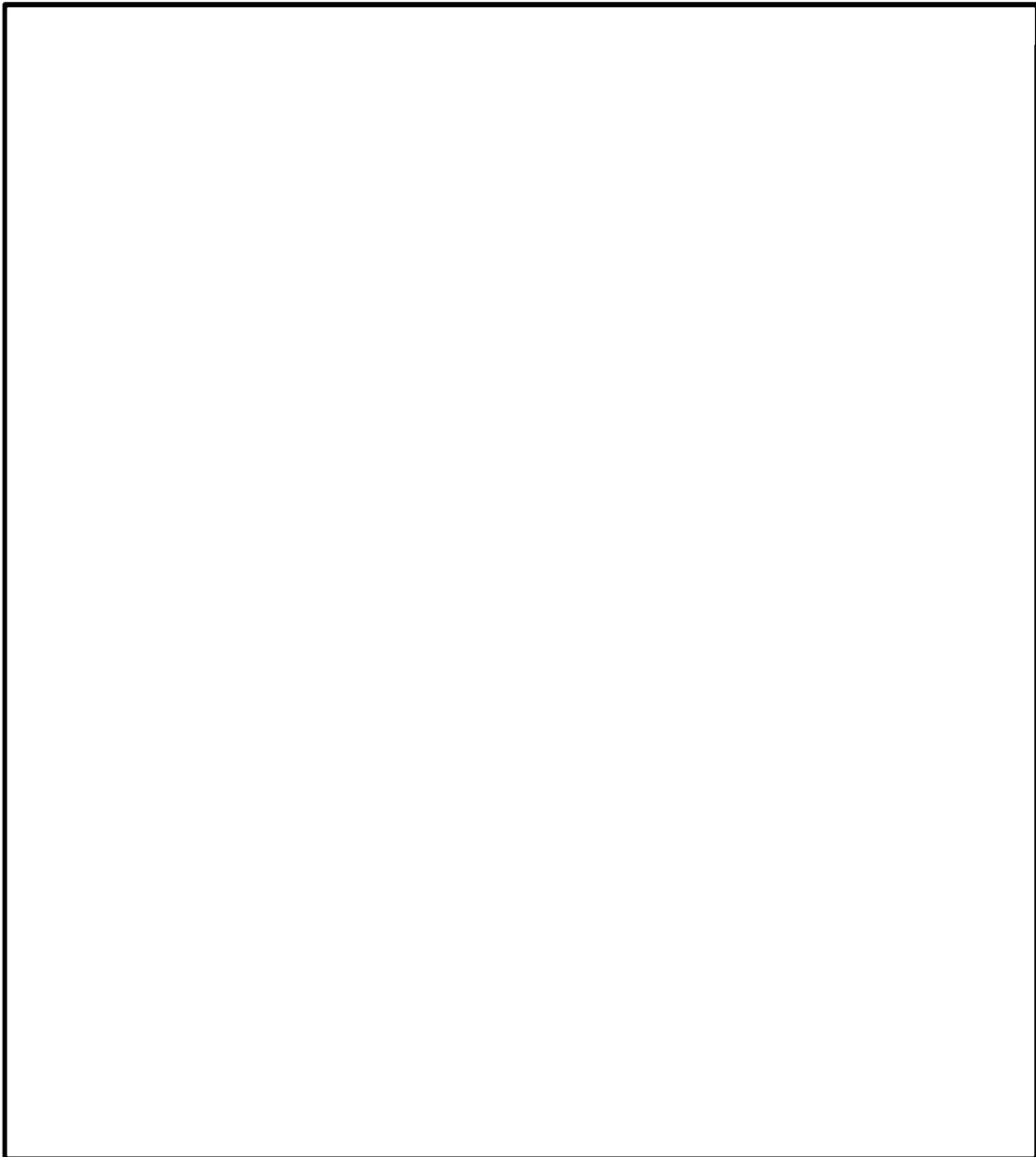
図－別紙 3－3 川内 2 号炉 空気環境測定箇所
(原子炉格納施設等、原子炉補助建屋、タービン建屋)



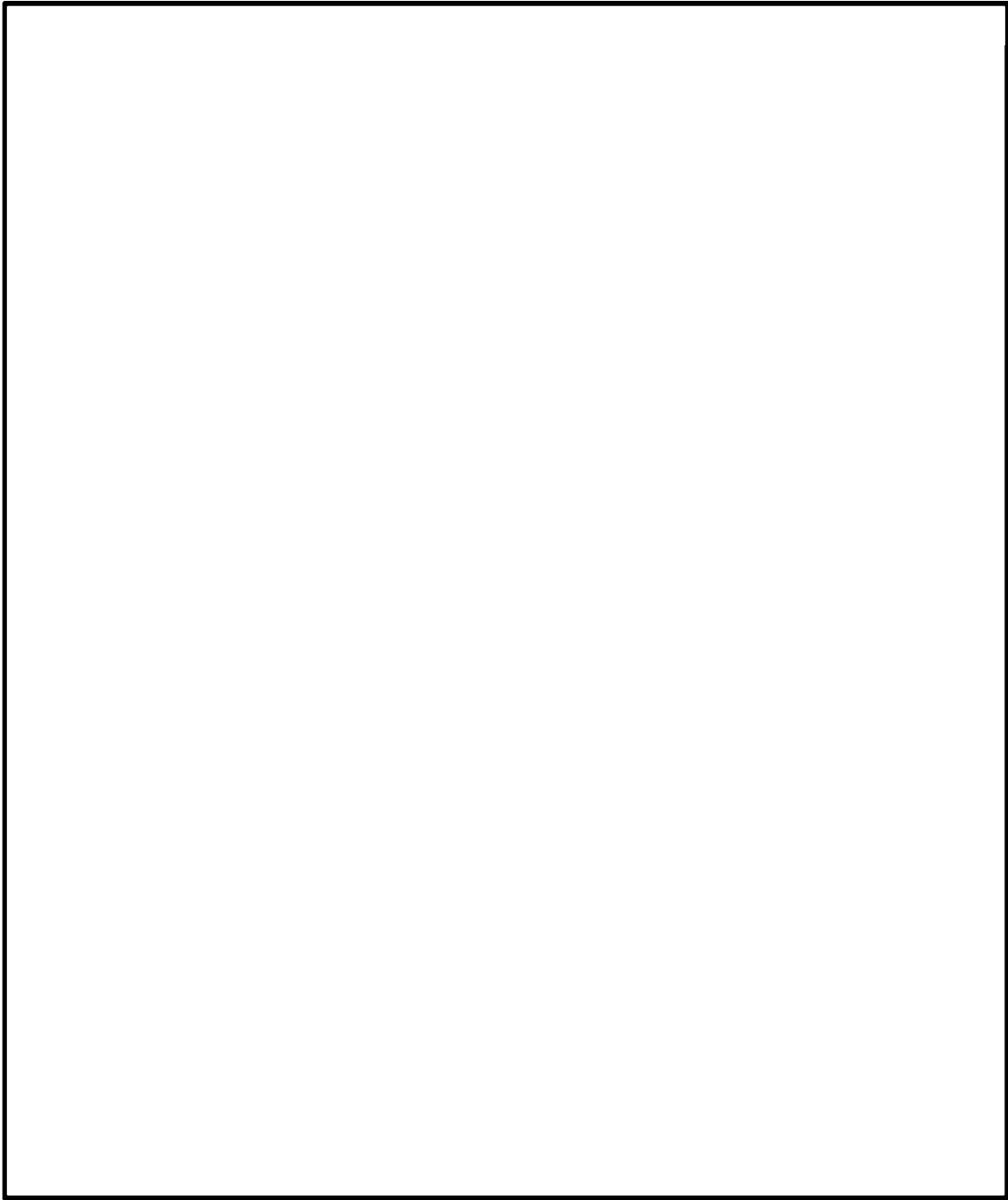
図－別紙 3－4 川内 2 号炉 空気環境測定箇所
(燃料取替用水タンク基礎 (配管トレンチ))



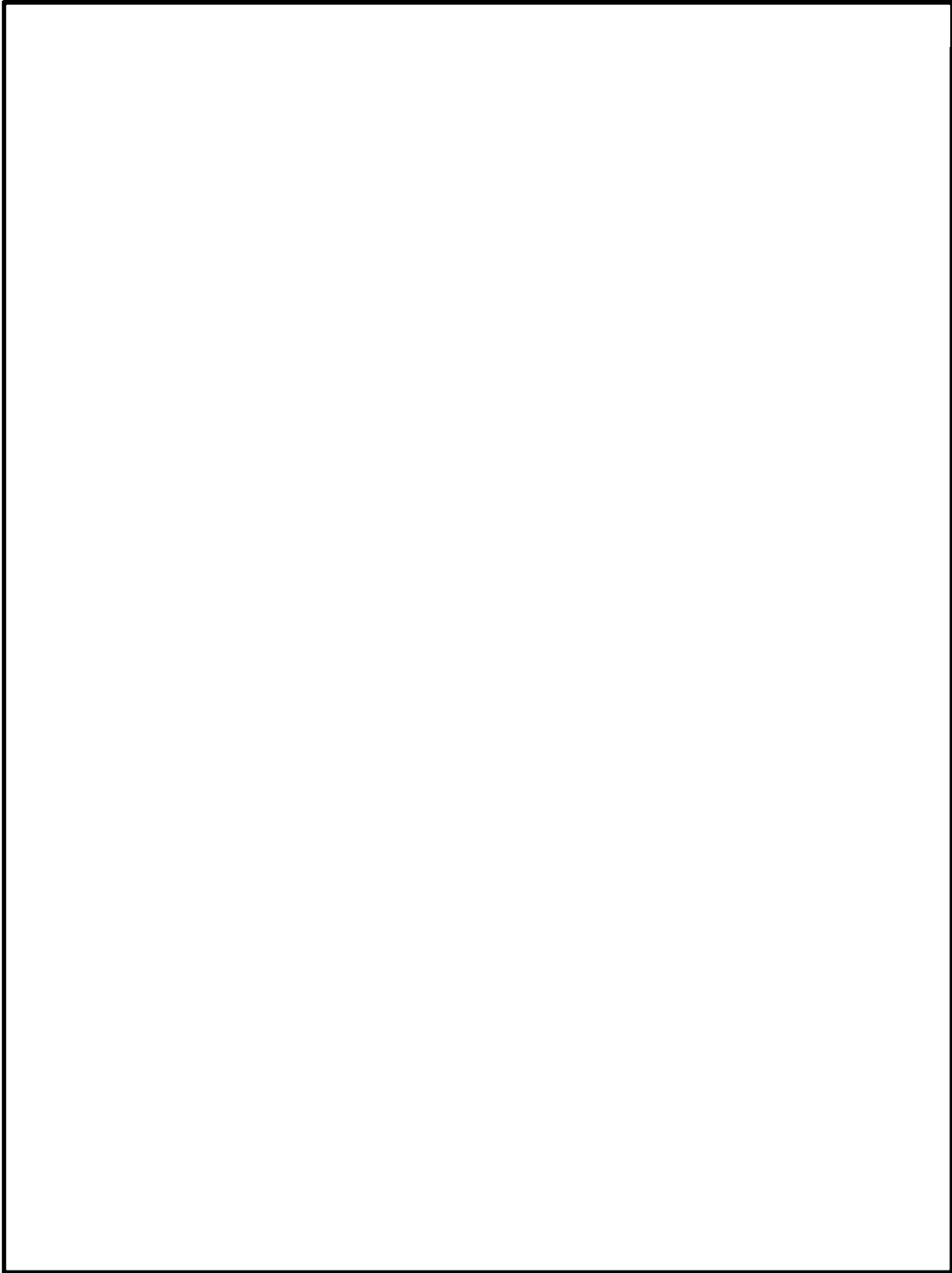
図－別紙 3－5 川内 2 号炉 空気環境測定箇所
(原子炉格納施設等、原子炉補助建屋、タービン建屋)



図－別紙 3－6 川内 2 号炉 空気環境測定箇所
(原子炉格納施設等、原子炉補助建屋、タービン建屋)



図－別紙 3－7 川内 2 号炉 空気環境測定箇所
(原子炉補助建屋)



図－別紙 3－8 川内 2 号炉 空気環境測定箇所
(タービン建屋)

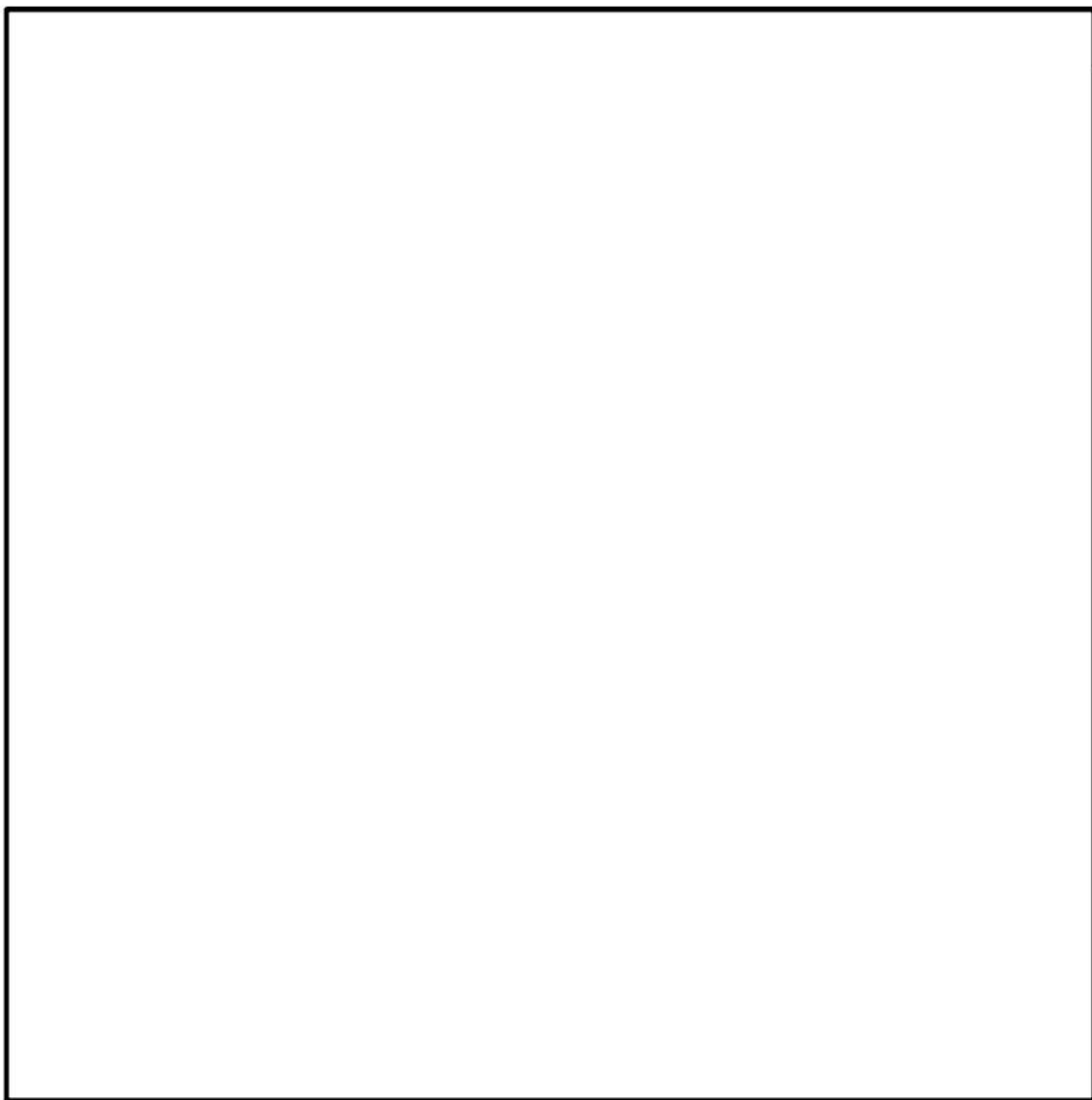
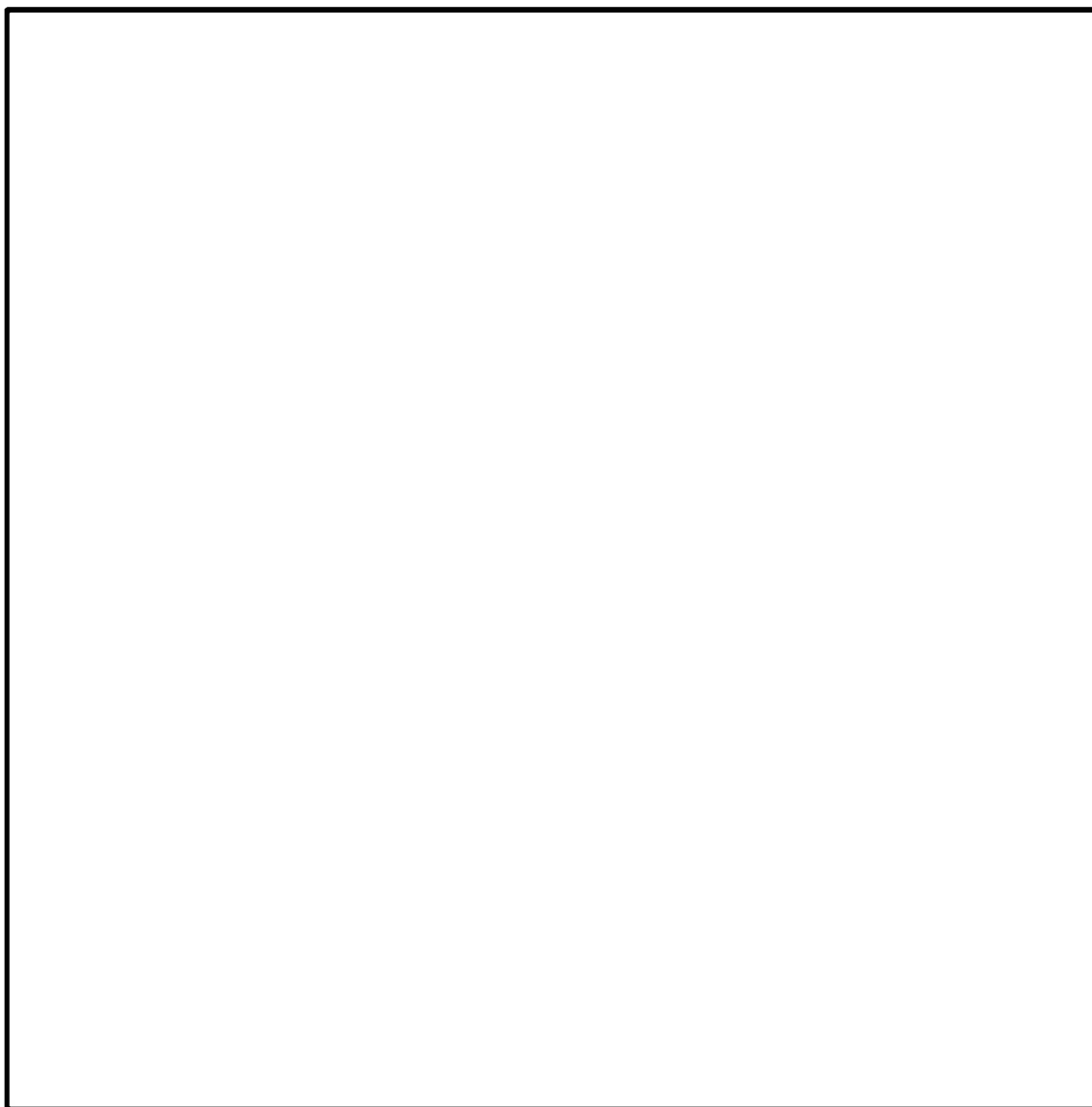


図-別紙3-9 川内2号炉 空気環境測定箇所
(取水槽)

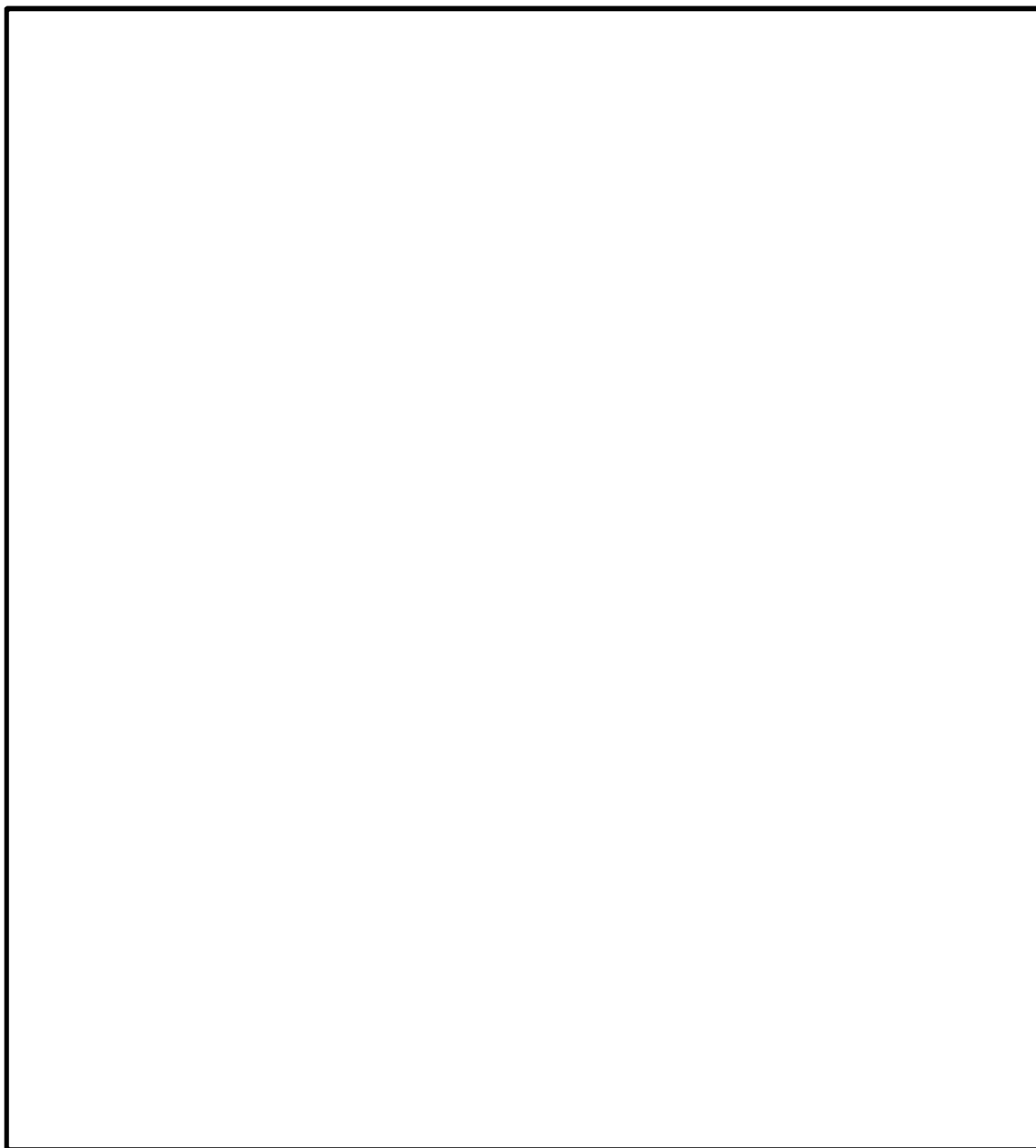
別紙 4. 中性化深さにおける非破壊試験実施箇所

凡例 (断面方向) (垂直方向)
▼ ● : 非破壊試験実施箇所



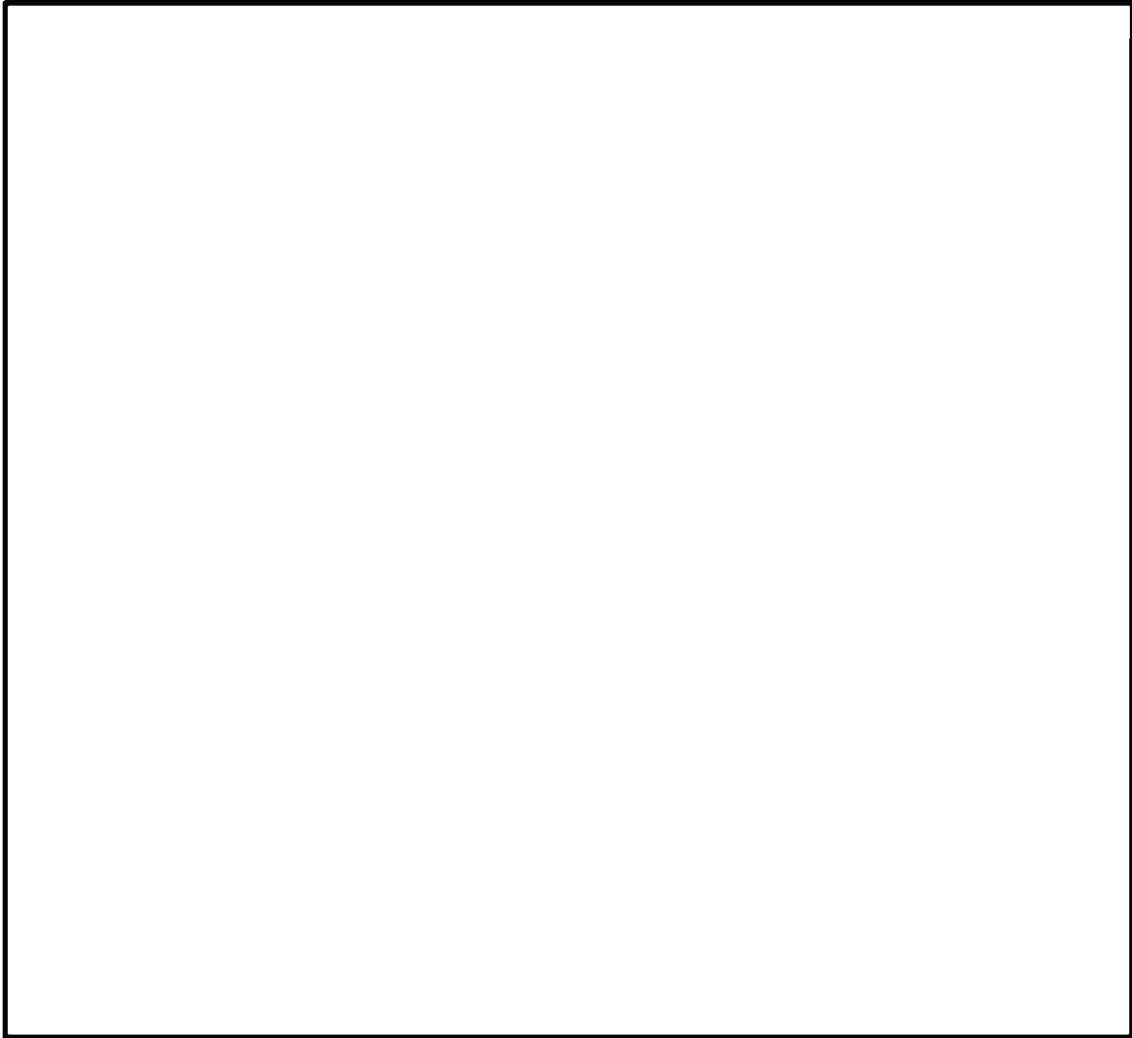
図－別紙 4－1 川内 2 号炉 非破壊試験実施箇所 (中性化深さ)
(原子炉格納施設等、原子炉補助建屋)

凡例 (断面方向) (垂直方向)
▼ ● : 非破壊試験実施箇所



図一別紙4-2 川内2号炉 非破壊試験実施箇所 (中性化深さ)
(原子炉補助建屋)

凡例 (断面方向) (垂直方向)
▼ ● : 非破壊試験実施箇所

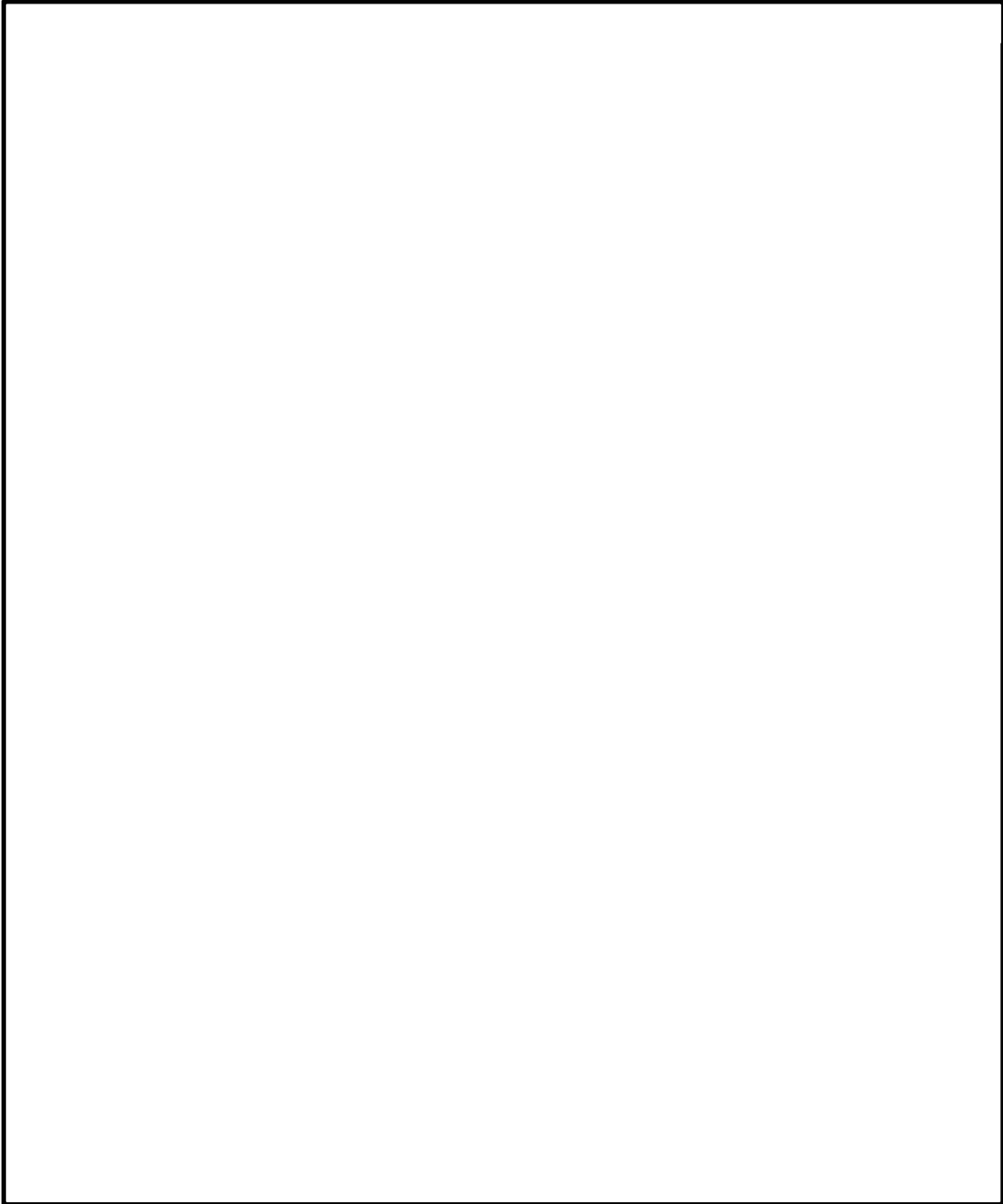


図－別紙４－３ 川内２号炉 非破壊試験実施箇所（中性化深さ）
（タービン建屋）

凡例 (断面方向) (垂直方向)

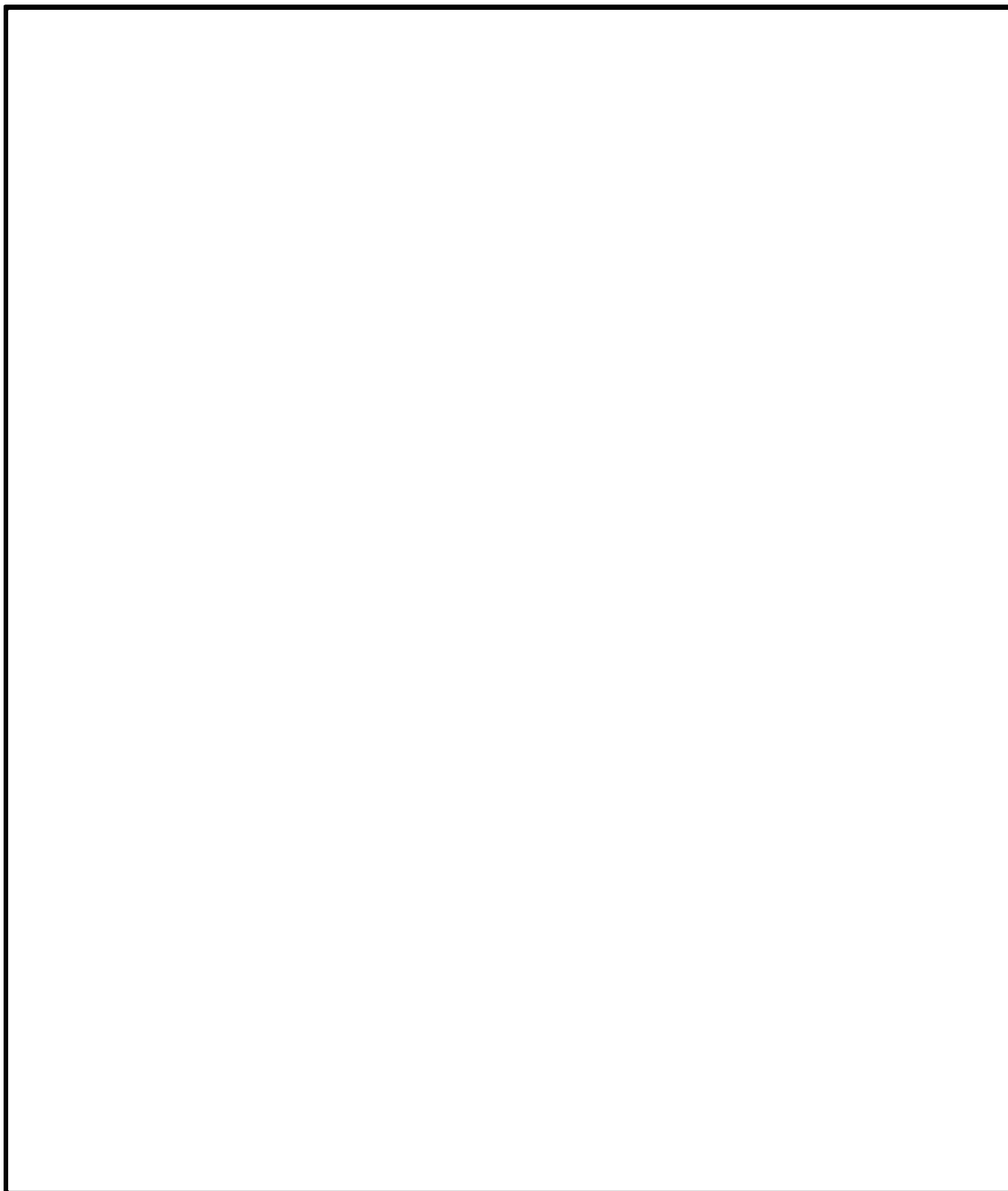


: 非破壊試験実施箇所



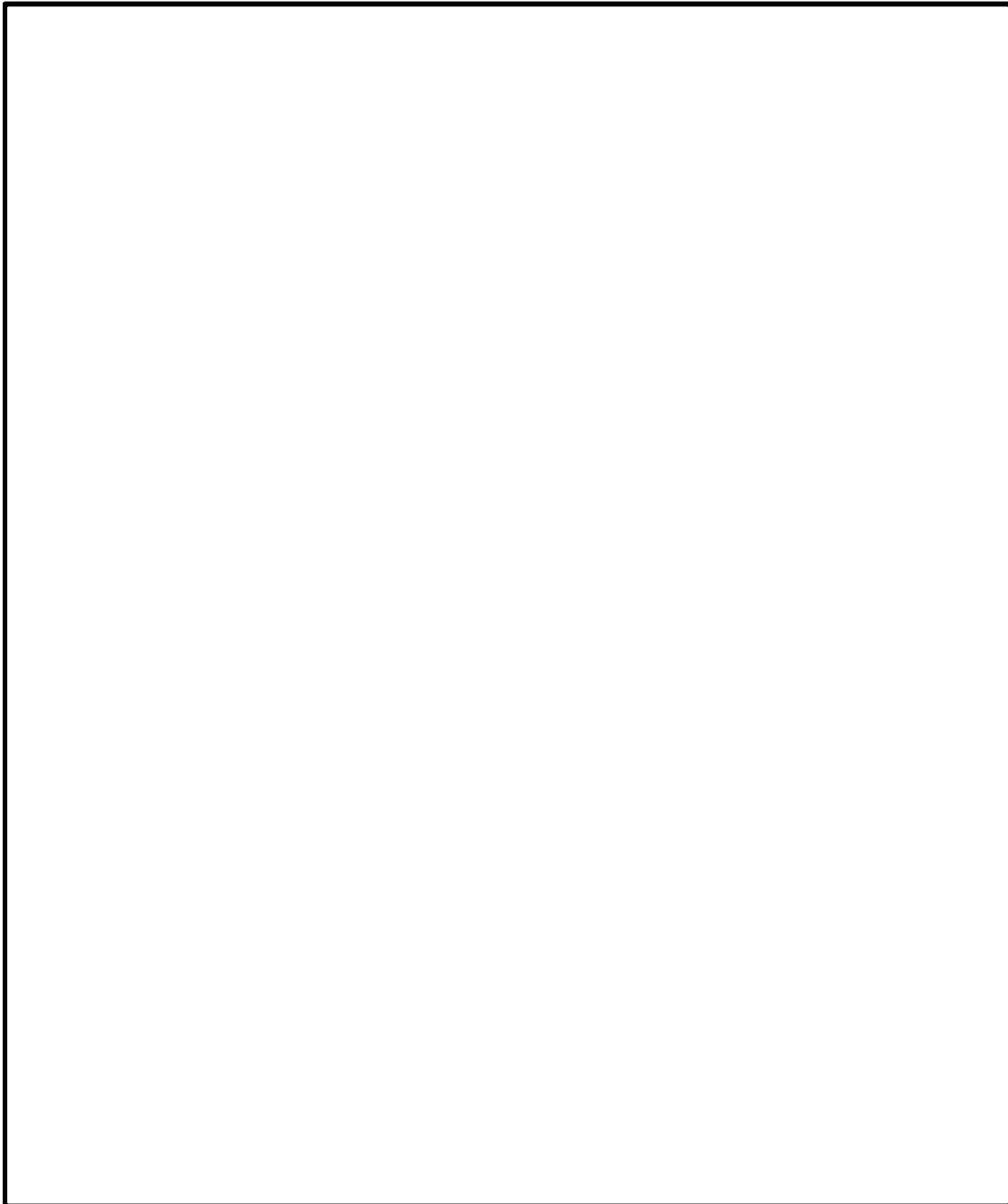
図一別紙 4 - 4 川内 2 号炉 非破壊試験実施箇所 (中性化深さ)
(原子炉格納施設等、原子炉補助建屋)

凡例 (断面方向) (垂直方向)
▼ ● : 非破壊試験実施箇所



図一別紙4-5 川内2号炉 非破壊試験実施箇所(中性化深さ)
(タービン建屋)

凡例 (断面方向) (垂直方向)
▼ ● : 非破壊試験実施箇所

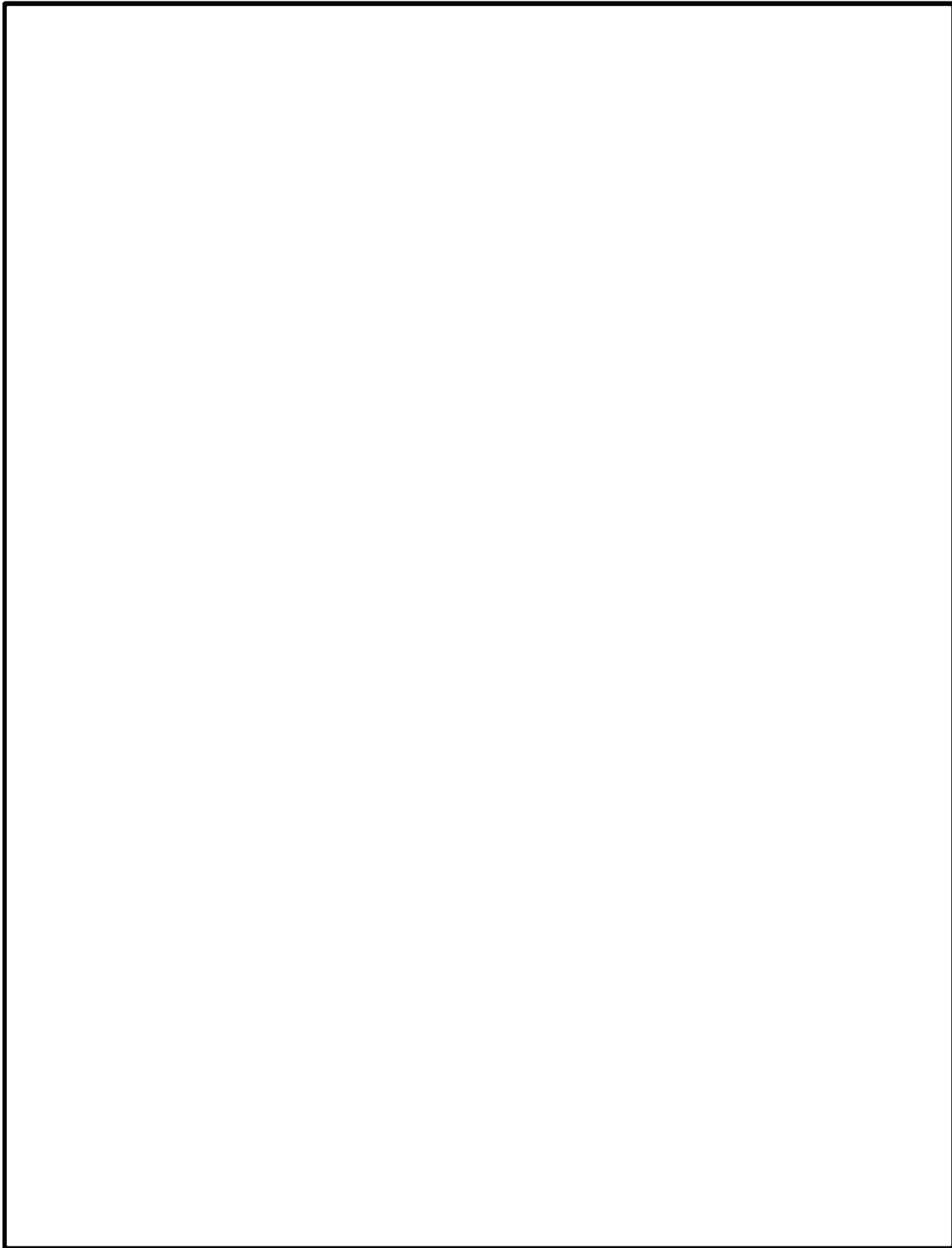


図一別紙4-6 川内2号炉 非破壊試験実施箇所(中性化深さ)
(原子炉格納施設等)

凡例 (断面方向) (垂直方向)



: 非破壊試験実施箇所



図－別紙 4－7 川内 2 号炉 非破壊試験実施箇所 (中性化深さ)
(取水槽 (干満帯、気中帯))

凡例 (断面方向) (垂直方向)



: 非破壊試験実施箇所

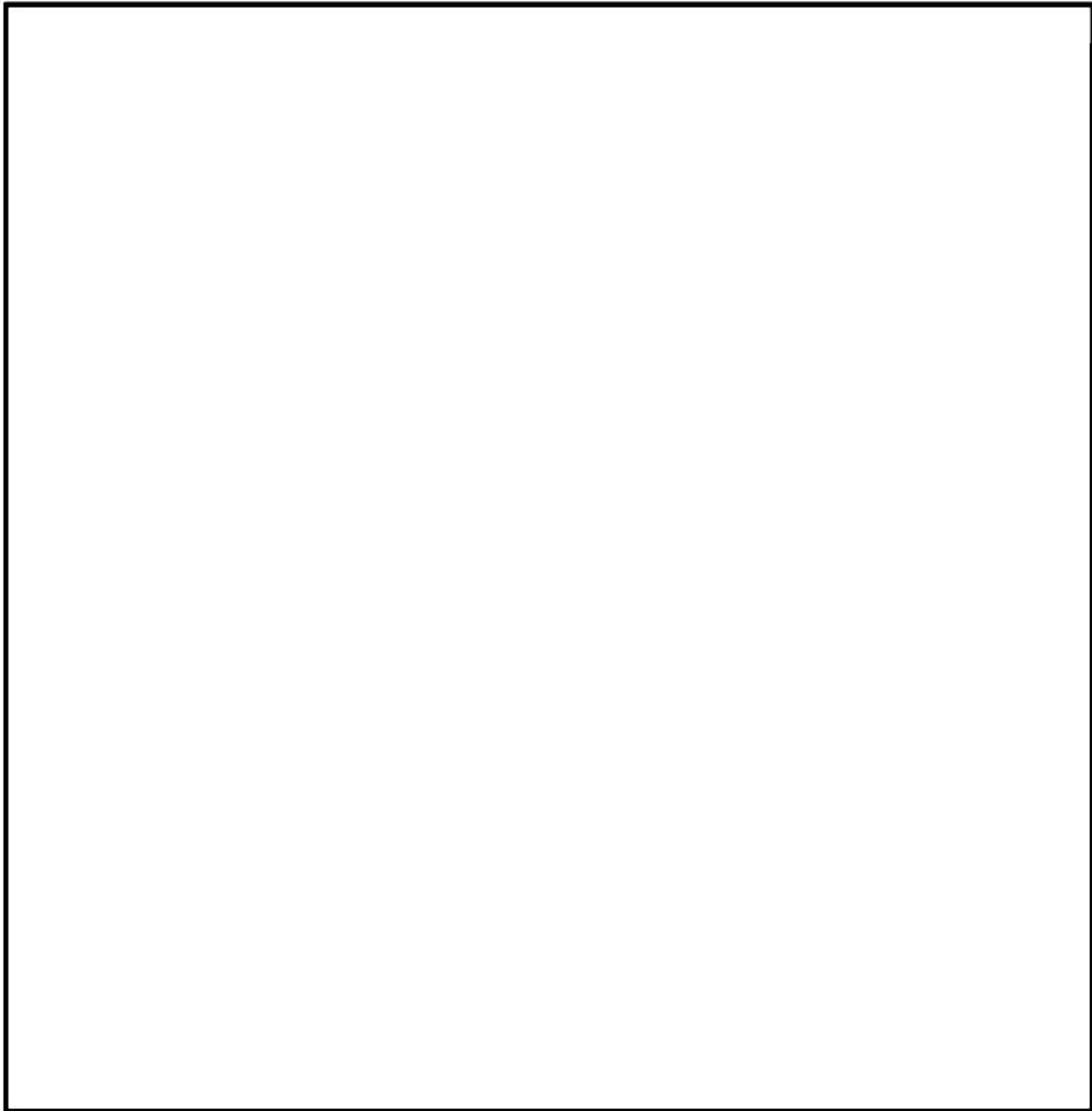


図-別紙4-8 川内2号炉 非破壊試験実施箇所(中性化深さ)
(非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎、燃料取替用水タンク基礎)

別紙5. 塩分量測定箇所

凡例 (断面方向) (垂直方向)

▼	●	: ドライガーゼ法
▼	●	: 蛍光X線分析計

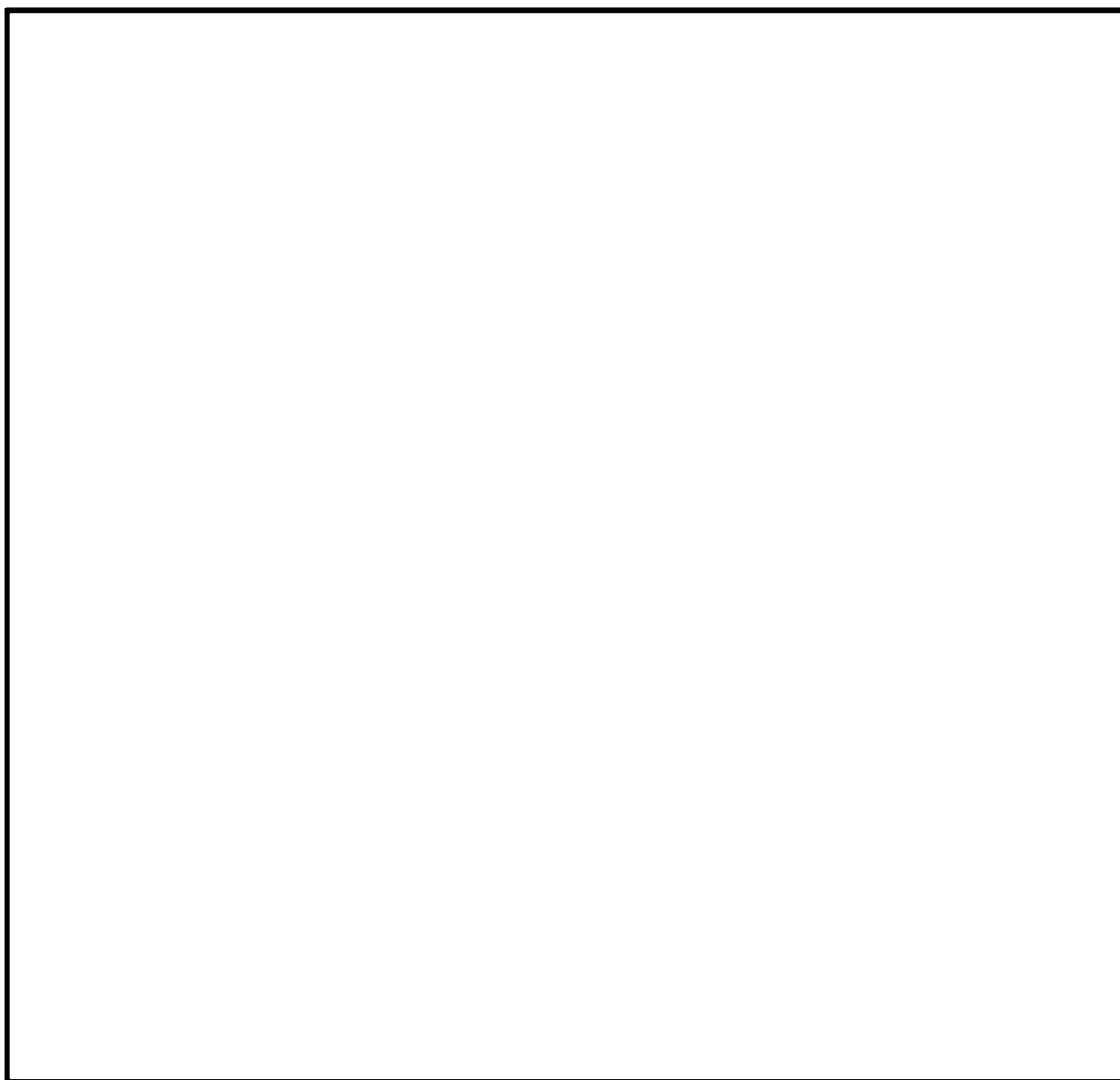
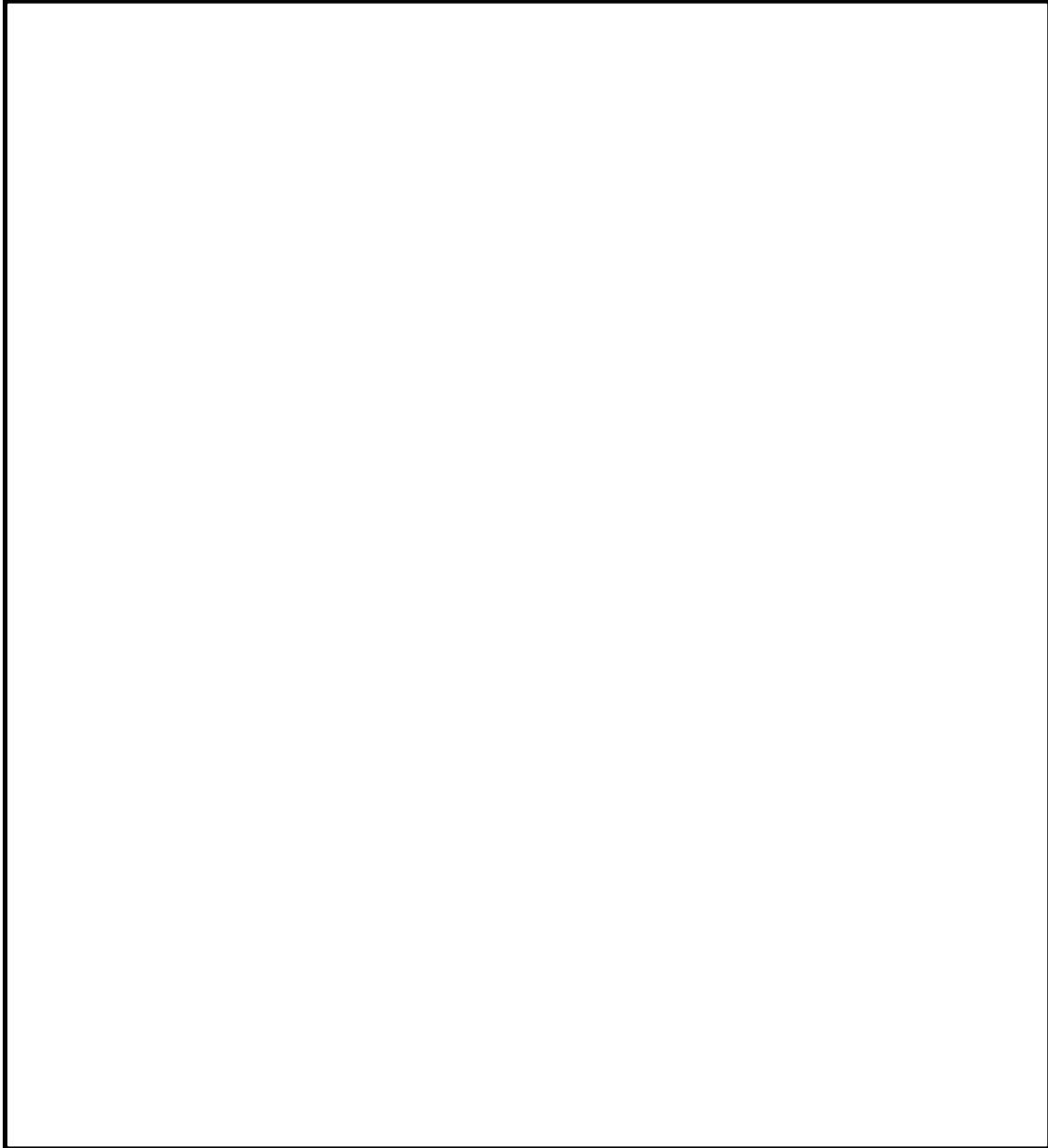


図-別紙5-1 川内2号炉 塩分量測定箇所
(原子炉補助建屋)

凡例 (断面方向) (垂直方向)

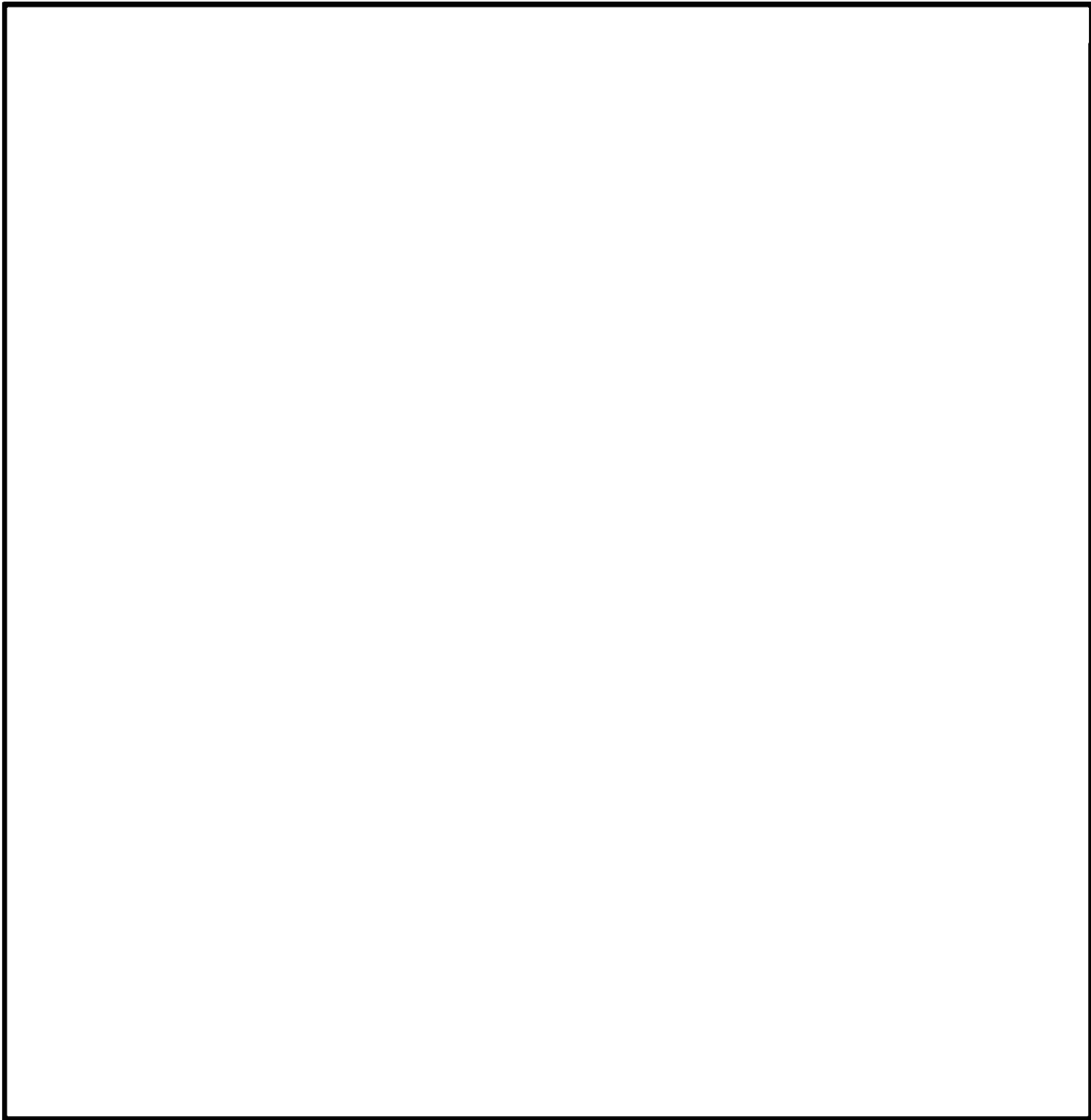
▼	●	: ドライガーゼ法
▼	●	: 蛍光X線分析計



図－別紙 5－2 川内 2 号炉 塩分量測定箇所
(原子炉補助建屋)

凡例 (断面方向) (垂直方向)

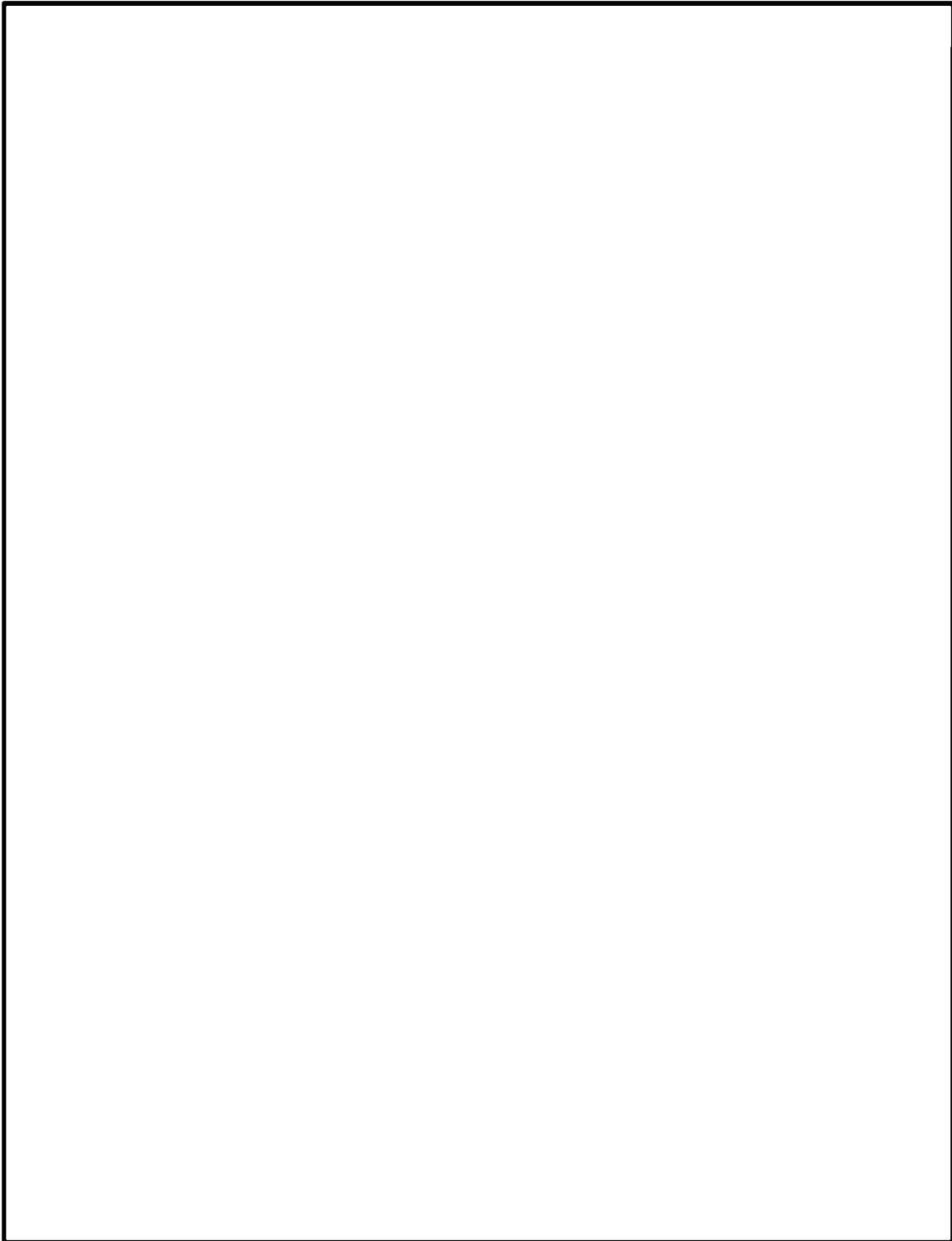
▼	●	: ドライガーゼ法
▼	●	: 蛍光X線分析計



図－別紙 5－3 川内 2 号炉 塩分量測定箇所
(原子炉格納施設等)

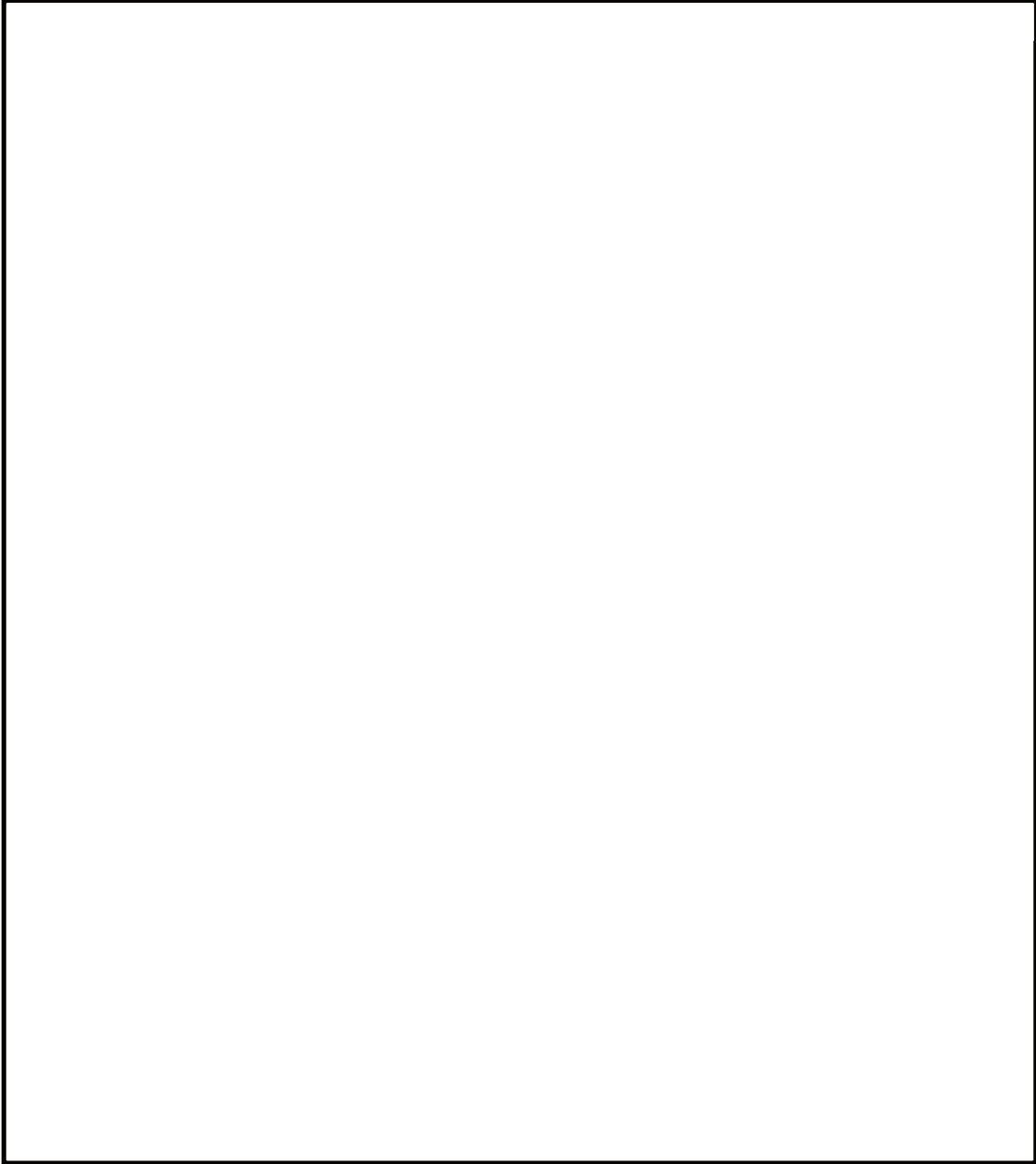
凡例 (断面方向) (垂直方向)

▼	●	: ドライガーゼ法
▼	●	: 蛍光X線分析計



図一別紙5-4 川内2号炉 塩分量測定箇所
(取水槽 (干満帯、気中帯))

凡例 (断面方向) (垂直方向)
▼ ● : ドライガーゼ法
▼ ● : 蛍光X線分析計



図－別紙 5－5 川内 2 号炉 塩分量測定箇所
(非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎、燃料取替用水タンク基礎)

別紙6. 塩分量測定の実態

(1) ドライガーゼ法

①測定箇所の範囲

測定箇所について、海岸線から最も近い面であつアクセス性を有する箇所、ということで、EL+36.15m～+62.4mの昇降用タラップでアクセスできる範囲を選定した。

②測定箇所数

一般に、飛来塩分の測定はkm単位で行うことが多いが、外部遮蔽壁の高さが約4.5m程度であることを踏まえ、より保守的な評価となる観点で、その範囲の最上部と最低部、これに加えてその間の3箇所について、測定を行うこととした。

③測定期間

測定期間は、季節変動を踏まえて2019年11月から2020年11月までの約1年間の測定記録を使用した。

(2) ポータブル型蛍光X線分析計

①測定箇所の範囲

測定箇所の範囲は、原子炉補助建屋については、海風の影響を受ける海岸線から最も近い面を、その他の構造物については、その規模を踏まえ全体を選定した。

②測定箇所数

塩害対策のマニュアルとして、橋梁塩害対策検討会「塩害橋梁維持管理マニュアル(案)」(2008)が示されている。この中で、塩害の詳細調査を行う場合、その範囲として“上部構造1径間ごと”との記載がある。マニュアルにおいては、詳細調査は目視点検で塩害による損傷が認められたものが対象となり、また当社設備の事例では、上部構造で約40mの長さの規模になることから、概ね、記載の規模程度で損傷が認められる設備に対して、1箇所を点検することで、設備全体の状態を代表することができる、と考えられる。

今回、目視点検においては損傷が確認されていない設備が対象であり、対象とする範囲も同様の規模程度であることを踏まえると、1箇所の測定で状態を代表できると考えられるが、より保守的に評価するため、3箇所程度について、測定を行うこととした。

また、1箇所あたりの測定範囲はコアサンプル採取を前提とし、コアサンプル採取本数に合わせて範囲を設定しており、その範囲内で測定している。

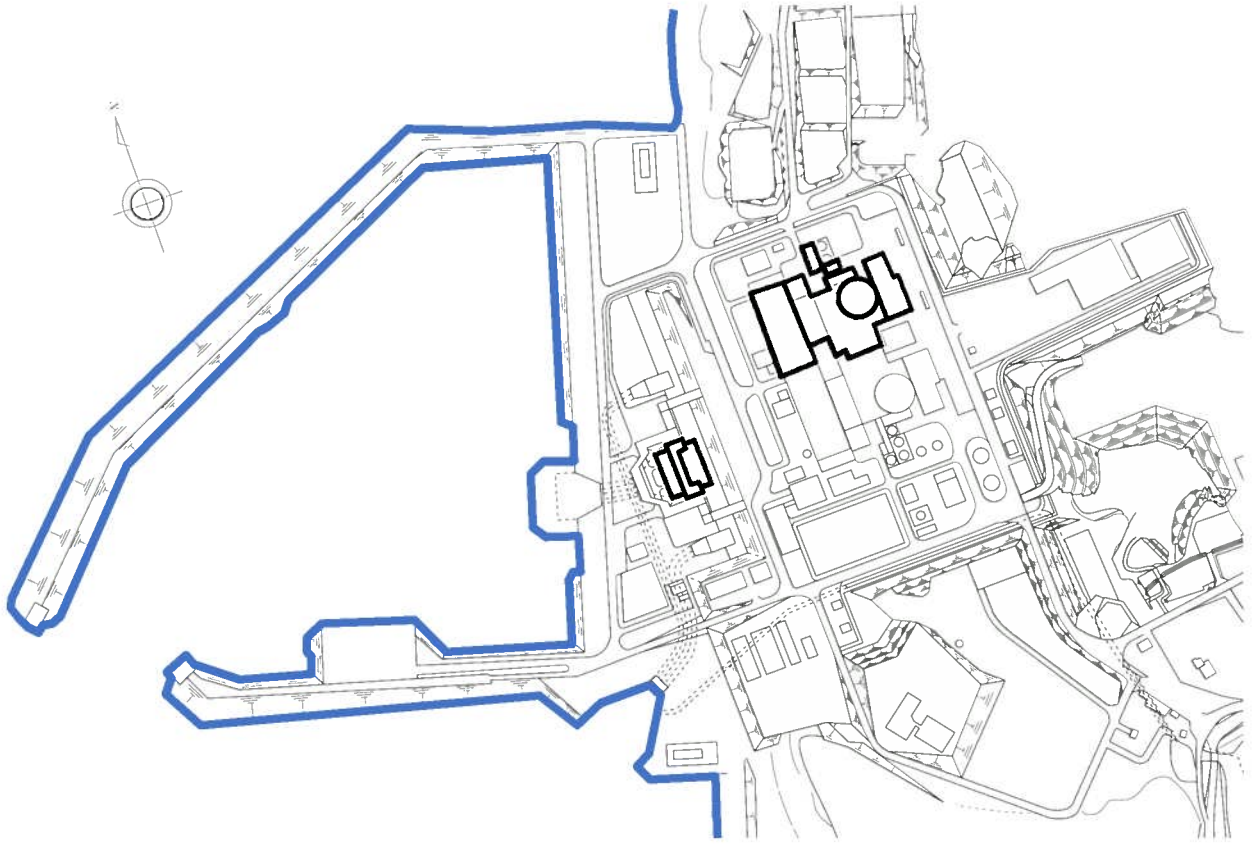


図-別紙6-1 川内2号炉 海岸線からの位置関係