

東海第二発電所 特別点検
(コンクリート構造物)

補足説明資料

平成 30 年 3 月 8 日
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、枠囲みの範囲は、商業機密
あるいは防護上の観点から公開できません。

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	3
3. 3 試験実施者の力量	11
3. 4 測定機器の管理	11
4. 点検箇所	12
4. 1 選定プロセス	12
4. 2 選定結果	28
5. 点検結果	31
6. まとめ	35

別紙 1～6

別紙 1. 特別点検実施箇所	37
別紙 2. 遮蔽能力における非破壊試験箇所	47
別紙 3. 空気環境測定箇所	49
別紙 4. 中性化深さにおける非破壊試験実施箇所	59
別紙 5. 塩分量測定箇所	64
別紙 6. コンクリート密度計算結果	67

1. はじめに

本資料は、東海第二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

対象の機器・構造物、対象の部位、着目する劣化事象、点検方法並びに点検項目は、「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」（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⁾

対象の機器・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

対象のコンクリート構造物において、強度低下及び遮蔽能力低下の観点で、採取したコアサンプルによる強度、遮蔽能力、中性化、塩分浸透及びアルカリ骨材反応の確認を実施した。

また、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ている。

なお、特別点検結果を用いて劣化状況評価を行っている。

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”と記載がある。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。

特別点検を実施した対象の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 特別点検を実施した対象のコンクリート構造物及び部位，点検項目

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	中性化深さ	塩分浸透	アルカリ骨材反応
原子炉建屋等		外壁	○	○	○	○	○
		内壁及び床	○	○*3	○	—	○
		原子炉圧力容器ペダスタル又はこれに準ずる部位	○	—	○	—	○
		一次遮蔽壁	○	○	○	—	○
		格納容器底部基礎マット*1	○	—	○	—	○
		格納容器底部外基礎マット	○	—	○	—	○
		使用済み燃料プール	○	—	○	—	○
		ダイヤフラムフロア*2	○	—	○	—	○
原子炉建屋以外の建屋 (中央制御室が設置されているものに限る。)		外壁	※	※	※	※	※
		内壁及び床	※	※	※	—	※
		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	原子炉建屋内	上記構造物「原子炉建屋等」に含む	○	—	○	—	○
	原子炉建屋以外の建屋内 (中央制御室が設置されているものに限る。)	※	※	—	※	—	※
	タービン建屋内 (タービン架台を含む。)	タービン架台	○	—	○	—	○
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。）		使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	○	○	○*3	○
		排気筒基礎	○	※	○	○	○

○：特別点検を実施

—：「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」において対象外

※：該当する部位なし

*1：格納容器底部外基礎マットで代替

*2：原子炉圧力容器ペダスタルで代替

*3：原子炉建屋外壁で代替

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 コンクリートの圧縮強度試験方法	①	
遮蔽能力	JASS 5N T-601 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	適用範囲を変更 (コアサンプルに適用)
中性化 深さ	JIS A 1152 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 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	「原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案 (JNES-RE-2013-2050)」に基づく方法	③	最新知見 (原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案 (JNES-RE-2013-2050), ASR 診断の現状とあるべき姿研究委員会報告書 (JCI)) 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にコンクリートの乾燥単位容積質量試験方法（JASS 5N T-601）とコンクリートの乾燥単位容積質量促進試験方法（JASS 5N T-602）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、このうち JASS 5N T-601 については、既往の研究²⁾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。そのため、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、最新知見である「原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案（JNES-RE-2013-2050, 平成 26 年 2 月）」及び「ASR 診断の現状とあるべき姿研究委員会報告書（JCI, 平成 26 年 7 月）」を参照し、点検方法を検討することとした。

最新知見においては、岩石学的診断法（国内）が表 3. 2. 4-1 に示すとおり、複数紹介されている。その中から東海第二は、定期的な目視確認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こと、また広範囲において点検が必要なことを踏まえ、「実体顕微鏡観察」を点検方法として選定した。

表 3. 2. 4-1 岩石学的診断法（国内）³⁾

試験方法				長所	課題
骨材	総プロ法 (旧建設省)	目視観察	コンクリートより取り出した骨材・コアのスライス片	簡便	岩種判定が目的・切断により、ゲルが見えにくくなる
		偏光顕微鏡観察	薄片（主にコンクリートより取り出した粗骨材）	やや簡便	粗骨材中の有害鉱物の含有状況の判定が目的。細骨材は対象外。セメントペーストのひび割れの進展状況を観察せず
		X線回折分析	コンクリートから取り出した粗骨材	簡便	オパール・ガラスは検出できない
	JCI-DD3	偏光顕微鏡観察	薄片（未使用骨材）	やや簡便 ※	コンクリート中の骨材の反応状況は観察の対象外
		X線回折分析	未使用骨材	簡便	反応性鉱物をリストアップしているが、内容が不正確
コンクリート	総プロ法 (旧建設省)	湿式化学分析	ゲルの確認（掻き取った試料）	簡便	試料採取位置が記録されず
			水溶性アルカリの測定	やや簡便	水溶性アルカリをすべてセメント由来とみなす。そのため、セメントのアルカリ量を過大に評価する
	NEXCO 西日本 (九州) 福永ら (2007)	実体顕微鏡観察	ゲルの検出（コア外周・破断面）	簡便	岩種の詳細は分からない
		岩種構成定量	粗骨材（展開写真）	やや簡便	展開カメラは市販されていない
			細骨材（薄片）	正確	測定に熟練・時間を要する
		偏光顕微鏡観察	反応・ひびの進展状況確認（薄片）	正確	薄片作製・観察に熟練を要する
	Katayama et al (2008)	SEM*観察	ゲルの検出（鏡面研磨薄片）	正確	観察に熟練を要する
		※ EPMA 分析 ** EDS 分析 ***	ゲルの組成分析（鏡面研磨薄片）	正確	観察・分析に熟練・時間を要する
			未水和セメントのアルカリ分析（鏡面研磨薄片）	正確	観察・分析に熟練・時間を要する

* SEM：走査電子顕微鏡

** EPMA：電子線プローブ・マイクロアナライザー

*** EDS：エネルギー分散型スペクトル分析装置

※出典から一部修正

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. 4-2 に、アルカリ骨材反応評価用デグリー表を表 3. 2. 4-3 に示す。

表 3. 2. 4-2 アルカリ骨材反応の点検記録帳票

コアサンプル実体顕微鏡観察 記録用紙

発電所名		コア番号	
構造物名		コア採取日	
点検部位		試験実施日	
試験実施者		備考	
確認箇所 写真			
骨材の種類	粗骨材		細骨材
アルカリ 骨材反応の 発生状況			
判定	コ メ ン ト	< 凡例 > 1. 反応性なし 2. 反応性あり	

表 3. 2. 4-3 アルカリ骨材反応評価用デグリー表



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てくる（図 3. 2. 4-1 参照）。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. 4-2 参照）。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しうるものであるため、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。

実体顕微鏡観察にて観察した結果、「反応性あり」と判定された場合は、図 3. 2. 4-3 に示すとおり、最新知見を踏まえてアルカリ骨材反応の進展状況を把握するためにより精緻な方法による点検を実施する。具体的には、実体顕微鏡観察結果により「反応性あり」と判定された部位について、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・ゲル、ひび割れ）をより精緻に確認できる「偏光顕微鏡観察」や反応が生じている特定の鉱物及びゲル生成物の同定並びにひび割れ等の進展状況をより精緻に確認できる「走査電子顕微鏡観察」等を選定（表 3. 2. 4-4 参照）し点検を実施することとし、コアサンプルを採取する場合は、最初のコアサンプルと同様、アルカリ骨材反応に対して使用環境の厳しい箇所を選定する。

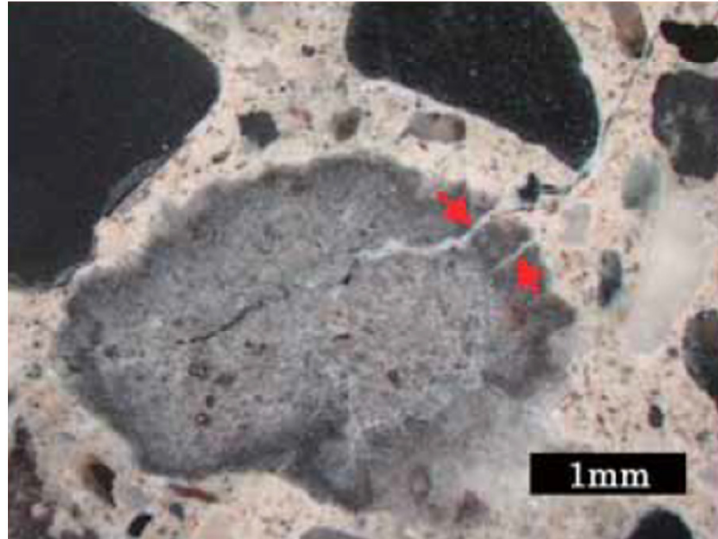


図 3. 2. 4-1 実体顕微鏡観察での膨張ひび割れの確認事例⁴⁾



図 3. 2. 4-2 実構造物における膨張ひび割れ（亀甲状）の事例⁵⁾

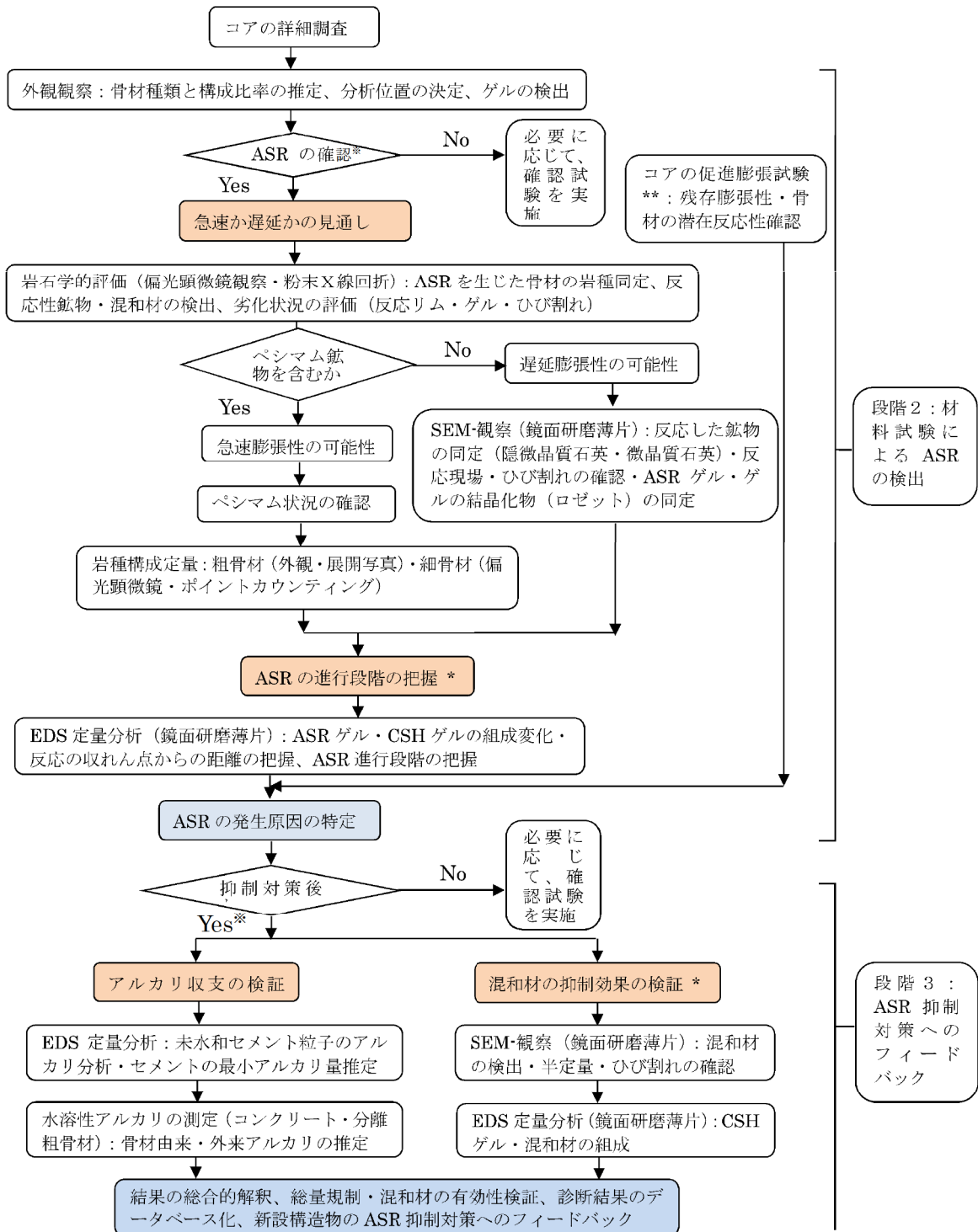


図 2.2（続き） コンクリート構造物の ASR 診断フロー（案）

* Katayama et al. (2004, 2008)、EDS:エネルギー分散型スペクトル分析装置

**Katayama et al. (2004)の方法（φ5cm×L13cm, 80℃ 1M NaOH 浸漬）、または JCI-DD2

※出典から一部修正

図 3. 2. 4-3 コンクリート構造物の ASR 診断フロー（案）³⁾

表 3. 2. 4-4 精緻な点検方法（岩石学的診断法）

岩石学的診断法	特徴等
偏光顕微鏡	反応性鉱物の同定，進展状況（反応リム，ゲル，ひび割れ）が確認可能
走査電子顕微鏡	特定の反応性鉱物の同定，ゲル生成物の同定，ひび割れ等の進展状況が確認可能

なお，劣化状況評価を踏まえた上で，特別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観察を行った。その結果，妥当であることを確認した。

3. 3 試験実施者の力量

特別点検を実施する試験実施者については、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。

3. 4 測定機器の管理

特別点検で使用された測定機器については、特別点検要領書で定めたとおり、国際又は国家標準にトレーサブルな計量標準に照らして校正が行われていることを校正証明書等により確認し、有効期限内に試験が行われていることを確認している。

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ことができる。”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。

コアサンプルの採取は、社内検討会にて定めたコアサンプルの採取計画に基づき、平成 26 年度から実施しているが、他社先行プラントの運転期間延長認可申請の審査状況を踏まえ、より厳しい使用材料及び使用環境条件となる部位を選定するために追加の環境測定や非破壊試験によりコアサンプルの再採取を行っている。

なお、原子炉建屋等のうち格納容器底部基礎マット、ダイヤフラムフロアについては、強度・機能に影響を及ぼすこととなると判断し、以下の理由により代替部位で確認している。

① 原子炉建屋等 格納容器底部基礎マット

当該部位においては、図 4. 1. 1-1 に示すように、ライナ・鋼板が表面にあり、これを切断してしまうと強度・機能に影響を及ぼすことになるため、コアサンプルを採取できない。そのため、使用材料が同じで、格納容器底部基礎マットより使用環境条件が厳しいと想定される格納容器底部外基礎マットから採取したコアサンプルで代替評価することとした。

② 原子炉建屋等 ダイヤフラムフロア

当該部位においては、図 4. 1. 1-2 に示すように、鉄筋が密に配筋されており、規格サイズのコアサンプルを採取するためには鉄筋を切断してしまい、強度・機能に影響を及ぼすことになるため、コアサンプルを採取できない。そのため、使用材料が同じで、ダイヤフラムフロアより熱や放射線等の使用環境条件が厳しいと想定される原子炉圧力容器ペデスタル又はこれに準ずる部位から採取したコアサンプルで代替評価することとした。

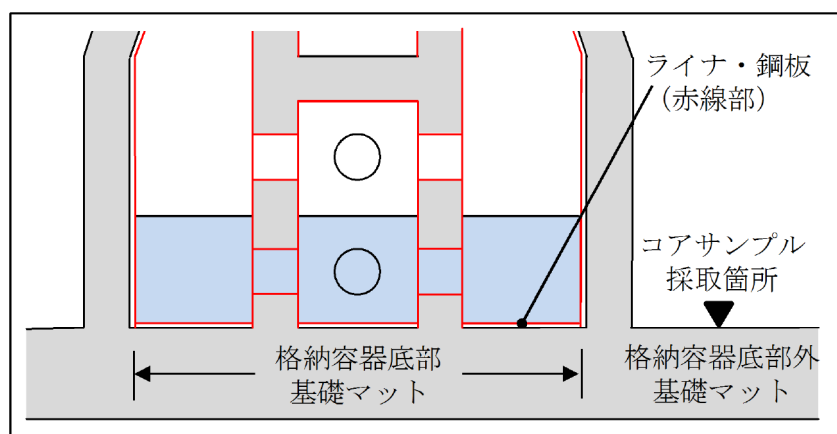


図 4. 1. 1-1 格納容器底部基礎マット概要図

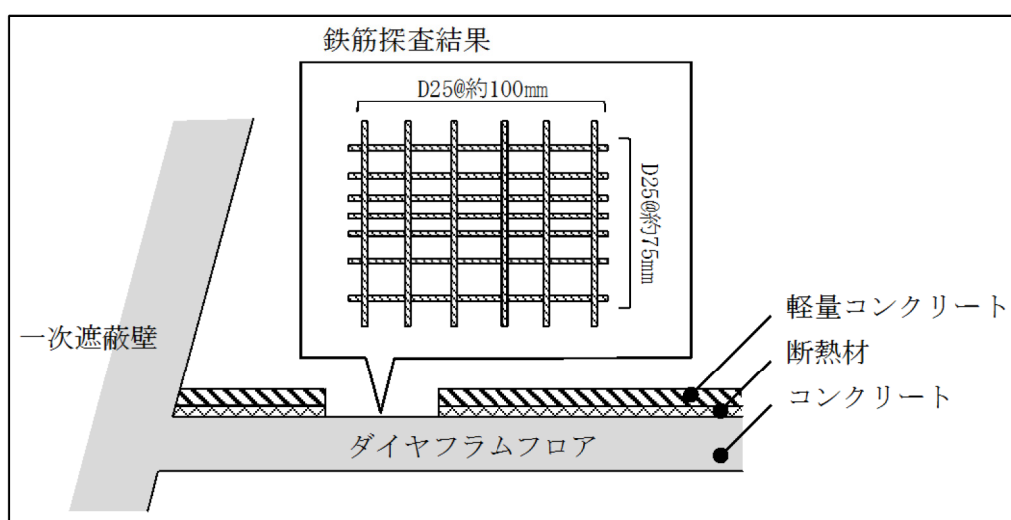


図 4. 1. 1-2 ダイヤフラムフロア概要図

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密度（単位容積質量）に影響を受け、密度は使用材料の密度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、建設時に乾燥単位容積質量試験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箇所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 参照）。一方で、建設時に乾燥単位容積質量試験を実施していない部位については、規格の範囲内での使用骨材のわずかな密度の違いに着目し、建設時の記録に基づき、対象の部位の範囲の中で計算上コンクリート密度が最も小さいと想定される箇所をコアサンプル採取箇所として選定した（表 4. 1. 2-3 参照）。

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、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の場合、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. 2-4 参照）。

なお、工事計画認可申請書の一部補正（平成 30 年 2 月 13 日）において追加された生体遮蔽範囲のコンクリート密度計算結果を別紙 6 に示す。

表 4. 1. 2-1 建設時の乾燥単位容積質量試験結果（原子炉建屋等 一次遮蔽壁）

打設日	平均乾燥単位 容積質量 [t/m ³]	コアサンプル 採取箇所	備考
1974. 2. 10	2. 250		
1974. 3. 8	2. 256		
1974. 4. 11	2. 266		
1974. 4. 23	2. 264		
1974. 5. 21	2. 249		
1974. 5. 25	2. 278		
1974. 6. 6	2. 254		
1974. 6. 23	2. 271		
1974. 6. 27	2. 251		
1974. 6. 29	2. 259		
1974. 6. 30	2. 252		
1974. 9. 25	2. 289		
1974. 10. 7	2. 262		
1975. 1. 31	2. 247		本打設区画は一次遮蔽壁外側表面から 1m 以上の深さのところにあり、かつ 2 階床レベルから斜め下方にコアボーリングする必要がある。当該部は鉄筋が 3 段で配筋されており、規格サイズのコアサンプルを採取するには、鉄筋間隔が狭く切断することになり、強度・機能に影響を及ぼすことになるため、コアサンプル採取不可。
1975. 3. 5	2. 248	○	
1975. 3. 18	2. 277		
1975. 4. 4	2. 286		
1975. 4. 15	2. 283		
1975. 4. 26	2. 296		
1975. 5. 26	2. 292		
1975. 6. 8	2. 299		
1975. 6. 21	2. 282		
1975. 7. 8	2. 294		
1975. 9. 16	2. 286		
1975. 10. 1	2. 290		
1975. 11. 14	2. 298		
1975. 11. 18	2. 286		

表 4. 1. 2-2 建設時の乾燥単位容積質量試験結果（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

打設日	平均乾燥単位 容積質量 [t/m ³]	コアサンプル 採取箇所	備考
2000. 5. 24	2. 263		
2000. 5. 22	2. 254	○	
2000. 6. 15	2. 255		
2000. 6. 8	2. 275		
2000. 7. 1	2. 266		

表 4. 1. 2-3 コンクリート密度の計算結果（原子炉建屋等 外壁）

打設日			材料密度 [g/cm ³]			コンクリート 密度 [kg/m ³]	コアサンプル 採取箇所
年	月	日	細骨材	粗骨材	セメント		
S48	12	4	2.60	2.59	2.95		
S49	1	24	2.61	2.61	2.95		
S48	12	1	2.59	2.59	2.95		
S49	1	29	2.61	2.60	2.95		
S49	1	29	2.61	2.60	2.95		
S49	2	2	2.61	2.60	2.95		
S49	2	6	2.61	2.60	2.95		
S48	12	12	2.60	2.59	2.95		
S49	3	16	2.60	2.61	2.95		
S48	12	23	2.60	2.59	2.95		
S49	3	18	2.60	2.61	2.95		
S49	3	13	2.60	2.61	2.95		
S49	3	15	2.60	2.61	2.95		
S49	3	12	2.60	2.61	2.95		
S49	3	14	2.60	2.61	2.95		
S48	12	23	2.60	2.59	2.95		
S49	5	23	2.62	2.61	2.95		
S49	4	17	2.61	2.60	2.95		
S49	4	14	2.61	2.60	2.95		
S49	4	18	2.61	2.60	2.95		
S49	4	22	2.61	2.60	2.95		
S49	5	16	2.62	2.61	2.95		
S49	6	23	2.62	2.62	2.95		
S49	6	6	2.62	2.61	2.95		
S49	5	25	2.62	2.61	2.95		
S49	5	21	2.62	2.61	2.95		
S49	6	30	2.62	2.62	2.95		
S49	6	27	2.62	2.62	2.95		
S49	6	29	2.62	2.62	2.95		
S49	1	23	2.61	2.61	2.95		
S49	7	2	2.62	2.62	2.95		
S49	7	27	2.61	2.61	2.95		
S49	9	13	2.61	2.61	2.95		
S49	7	29	2.61	2.61	2.95		
S49	6	26	2.62	2.62	2.95		
S49	6	24	2.62	2.62	2.95		
S49	9	13	2.61	2.61	2.95		
S49	8	12	2.61	2.60	2.95		
S49	8	13	2.61	2.60	2.95		
S49	11	12	2.61	2.60	2.95		
S49	2	12	2.61	2.60	2.95		
S49	8	10	2.61	2.60	2.95		
S49	8	6	2.61	2.60	2.95		
S49	9	23	2.61	2.61	2.95		
S49	9	30	2.61	2.61	2.95		
S49	9	20	2.61	2.61	2.95		
S49	10	30	2.61	2.61	2.95		
S49	11	14	2.61	2.61	2.95		
S49	10	11	2.61	2.61	2.95		
S49	10	21	2.61	2.61	2.95		
S49	11	25	2.61	2.61	2.95		
S49	11	26	2.61	2.61	2.95		
S49	12	2	2.61	2.61	2.95		
S49	12	3	2.61	2.61	2.95		
S49	12	20	2.61	2.61	2.95		
S49	12	23	2.61	2.60	2.95		
S49	12	26	2.61	2.60	2.95		
S49	12	26	2.61	2.60	2.95		
S49	12	23	2.61	2.60	2.95		
S50	1	16	2.61	2.60	2.95		
S49	12	24	2.61	2.60	2.95		
S50	1	14	2.61	2.60	2.95		
S50	1	28	2.61	2.61	2.95		
S50	2	12	2.61	2.61	2.95		
S50	1	27	2.61	2.61	2.95		
S50	2	5	2.61	2.61	2.95		
S50	3	8	2.61	2.61	2.96		
S50	3	14	2.62	2.61	2.96		
S50	2	15	2.61	2.60	2.95		
S50	3	26	2.61	2.60	2.96		
S50	3	31	2.61	2.60	2.96		
S50	3	29	2.61	2.60	2.96		
S50	4	5	2.61	2.60	2.96		
S50	4	18	2.62	2.60	2.96		
S50	5	7	2.61	2.60	2.95		
S50	4	30	2.61	2.60	2.95		
S50	5	22	2.62	2.60	2.95		
S50	5	22	2.62	2.60	2.95		
S50	5	27	2.61	2.61	2.95		
S50	5	24	2.62	2.61	2.95		
S50	6	11	2.62	2.60	2.96		
S50	10	14	2.62	2.62	2.95		
S50	9	16	2.62	2.61	2.95		
S50	6	19	2.62	2.60	2.96		
S50	7	1	2.62	2.61	2.95		
S50	10	14	2.62	2.62	2.95		
S50	10	1	2.61	2.62	2.96		
S50	10	25	2.62	2.62	2.95		
S50	11	18	2.61	2.62	2.96		
S50	12	13	2.61	2.62	2.95		
S50	11	14	2.61	2.62	2.96		

※同率順位であったため、リバウンドハンマーによる反発度の低い方を選定

表 4. 1. 2-4 非破壊試験による遮蔽能力コアサンプル採取箇所選定結果

対象のコンクリート 構造物	対象の部位	測定 番号	平均 反発度	コアサンプル 採取箇所
原子炉建屋等	外壁	No. 1	55	○
		No. 2	58	
		No. 3	57	
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。)	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	No. 1	44	○*
		No. 2	44	
		No. 3	53	

※同率順位であったため、小数点以下第1位までの値で判断

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。

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、中性化は二酸化炭素、温度及び湿度の影響を受け、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⁶⁾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 参照）。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た。これに加え、中性化はコンクリート強度の影響を受けるため、影響度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の場合、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をコアサンプル採取箇所を選定した（表 4. 1. 3-2 参照）。

表 4. 1. 3-1 対象の部位ごとの環境条件による影響度の算出結果

対象のコンクリート構造物		対象の部位	測定結果※1			環境条件による影響度※1, 2	備考
			温度(℃)	湿度(%)	二酸化炭素濃度(ppm)		
原子炉建屋等		外壁	22.4	43.8	491	0.253	
		内壁及び床	32.9	26.8	517	0.377	
		一次遮蔽壁	21.4	47.4	489	0.233	
		格納容器底部外基礎マット	22.2	44.4	503	0.252	塗装あり
		使用済み燃料プール	20.1	51.5	472	0.208	塗装あり
タービン建屋		外壁	19.7	51.5	472	0.206	
		内壁及び床	19.7	51.5	472	0.206	
		基礎マット	19.7	51.5	472	0.206	塗装あり
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	タービン建屋内（タービン架台を含む。）	タービン架台	18.5	55.0	455	0.184	塗装あり

測定期間：平成 28 年 2 月 17 日～平成 29 年 2 月 16 日

※1 対象の部位ごとに影響度が最も大きくなったものを示す

※2 森永式における環境条件による係数（下記赤部）から算出

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

x ：中性化深さ（mm）

T ：温度（℃）

t ：材齢（日）

C ：炭酸ガス濃度（%）（1%=10,000ppm）

RH ：湿度（%）

w/c ：水セメント比（%÷100）

R ：中性化比率

表 4. 1. 3-2 非破壊試験による中性化深さコアサンプル採取箇所選定結果

対象のコンクリート 構造物	対象の部位	測定 番号	平均 反発度	コアサンプル 採取箇所
原子炉建屋等	内壁及び床	No. 1	55	
		No. 2	55	
		No. 3	54	○
	一次遮蔽壁	No. 1	52	○
		No. 2	58	
		No. 3	57	
タービン建屋	外壁	No. 1	50	○
		No. 2	55	
		No. 3	51	
取水槽	気中帯	No. 1	52	
		No. 2	54	
		No. 3	57	
		No. 4	51	○
		No. 5	59	
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。)	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	No. 1	44	○
		No. 2	53	
		No. 3	52	
	排気筒基礎	No. 1	49	
		No. 2	45	○
		No. 3	51	
		No. 4	46	

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激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の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、付着する塩分の量は、対象の部位における使用環境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。海岸線からの構造物の位置関係を図 4. 1. 4-1 に示す。

大型構造物である原子炉建屋及びタービン建屋の外壁については、飛来塩分を捕集する器具（ドライガーゼ法，図 4. 1. 4-2 参照）をその範囲が高さ方向に概ね均等になるような 4 箇所に分散して設置し、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に選定した（表 4. 1. 4-1 参照）。

また、取水槽（気中帯）では、循環水ポンプクレーン基礎で概ね均等になるような 7 箇所について、排気筒基礎は地上露出部の 4 箇所について、コンクリート表面の塩分量を測定する器具（ポータブル表面塩分計，図 4. 1. 4-3 参照）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に選定した（表 4. 1. 4-2 参照）。

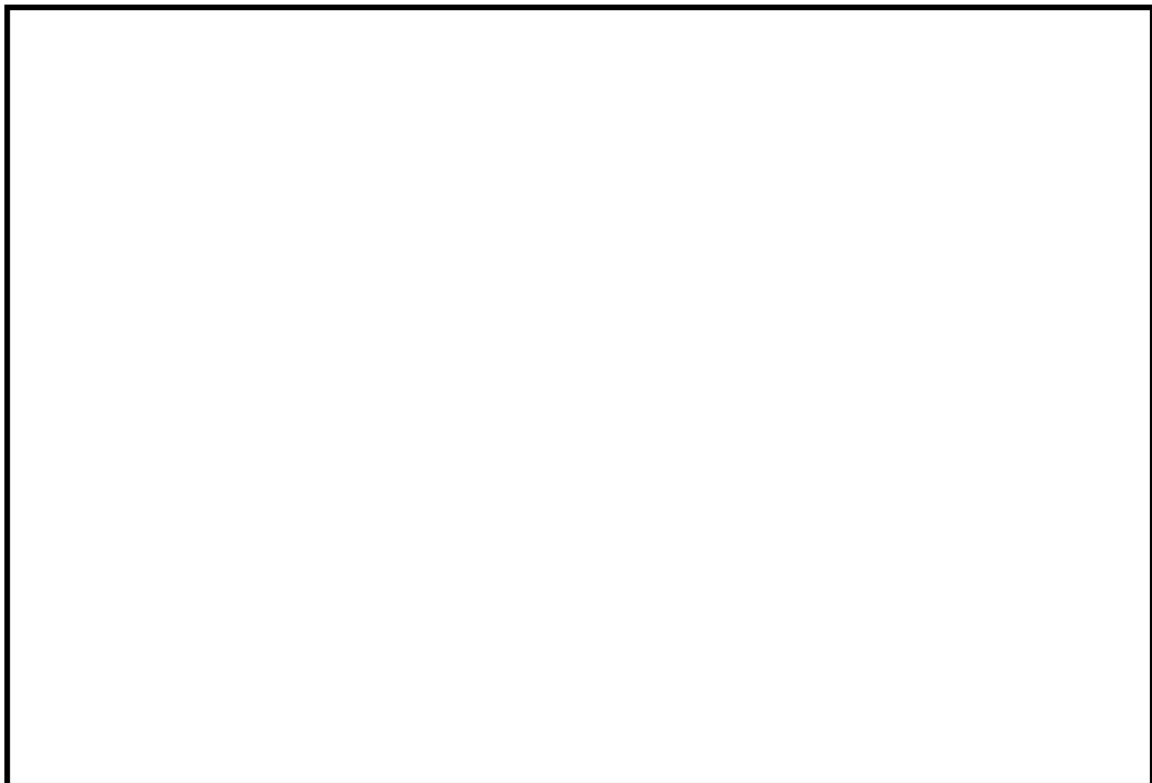


図 4. 1. 4-1 海岸線からの構造物の位置関係



図 4. 1. 4-2 飛来塩分捕集器
(ドライガーゼ法)



図 4. 1. 4-3 表面塩分量測定器
(ポータブル表面塩分計)

表 4. 1. 4-1 飛来塩分量測定による塩分浸透コアサンプル採取箇所選定結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定番号	測定値 飛来塩分量 (mg/m ²)	コアサンプル 採取箇所
原子炉建屋等 (タービン建屋)	外壁	No. 1	49.4	
		No. 2	69.2	
		No. 3	267.1	○
		No. 4	266.6	

測定期間：平成 28 年 2 月 17 日～平成 29 年 2 月 16 日

表 4. 1. 4-2 表面塩分量測定による塩分浸透コアサンプル採取箇所選定結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定番号	測定値 表面塩分量 (mg/m ²)	コアサンプル 採取箇所
取水槽	気中帯	No. 1	172.1	
		No. 2	281.2	
		No. 3	51.3	
		No. 4	88.3	
		No. 5	148.3	
		No. 6	79.0	
		No. 7	432.3	○
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。）	排気筒基礎	No. 1	19.4	
		No. 2	20.2	○
		No. 3	14.7	
		No. 4	15.2	

測定回数：平成 28 年 5 月，8 月，11 月，平成 29 年 2 月の 4 回

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。

アルカリ骨材反応は、反応性骨材、水分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影響が懸念される。コンクリートについては、表 4.1.5-1 に示すとおり、2007 年に実施した日本コンクリート工学協会 JCI-DD2 法（アルカリ骨材反応を生じたコンクリート構造物のコア試料による膨張率の測定方法（案））による試験を実施した結果、無害であると判定された。合わせて、アルカリ分の主な供給元であるセメントについて、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、その使用環境におい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、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に選定した。次に、放射線の観点で放射線照射量が最も多い原子炉压力容器ペダスタルをコアサンプル採取箇所に選定した。最後に、その他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、水分供給の観点から、対象の部位の範囲において湿度が高い箇所（対象の部位の中で、セメントの種類が異なる箇所はセメントの種類を考慮）をコアサンプル採取箇所に選定した（表 4. 1. 5-2 参照）。

表 4. 1. 5-1 JCI-DD2 法試験結果（2007 年）

構造物名	骨材産地	試験結果	判定基準	判定
		材令 6 ヶ月の膨張率（％）	材令 6 ヶ月の膨張率（％）	
原子炉建屋	粗骨材：茨城県那珂川産川砂利 細骨材：茨城県那珂郡東海村産敷地内掘削砂	0.026	0.10 以下	無害
取水構造物	粗骨材：茨城県常陸太田市町屋産碎石 細骨材：茨城県那珂郡東海村産敷地内掘削砂	0.042	0.10 以下	無害

表 4. 1. 5-2 対象部位ごとの湿度測定結果によるアルカリ骨材反応
コアサンプル採取箇所選定結果

対象のコンクリート構造物		対象の部位	影響区分	平均湿度 (%)	選定したコアサンプル採取箇所	セメントの種類
原子炉建屋等		外壁	外部からのアルカリ供給（塩分）	－	屋外上部	フライアッシュ B 種セメント
		内壁及び床	水分（湿度）	54.9	主蒸気トンネル室	普通ポルトランドセメント※
		原子炉圧力容器ペデスタル又はこれに準ずる部位	放射線照射	－	原子炉圧力容器ペデスタル中間スラブ	フライアッシュ B 種セメント
		一次遮蔽壁	水分（湿度）	52.7	2 階原子炉格納容器外周部（南側）	フライアッシュ B 種セメント
		格納容器底部外基礎マット	水分（湿度）	50.7	原子炉隔離時冷却ポンプ室	フライアッシュ B 種セメント
		使用済み燃料プール	水分（湿度）	51.5	原子炉冷却材浄化系プリコートタンク室	フライアッシュ B 種セメント
タービン建屋		外壁	外部からのアルカリ供給（塩分）	－	屋外上部	普通ポルトランドセメント
		内壁及び床	水分（湿度）	61.9	低圧ヒーターエリア	フライアッシュ B 種セメント※
		基礎マット	水分（湿度）	61.9	低圧ヒーターエリア	フライアッシュ B 種セメント
取水槽		海中帯	外部からのアルカリ供給（塩分）	－	循環水ポンプ B 水槽内側壁	普通ポルトランドセメント
		干満帯	外部からのアルカリ供給（塩分）	－	循環水ポンプ B 水槽内側壁	普通ポルトランドセメント
		気中帯	外部からのアルカリ供給（塩分）	－	循環水ポンプクレーン基礎	普通ポルトランドセメント
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	タービン建屋内（タービン架台を含む。）	タービン架台	水分（湿度）	61.3	相分離母線エリア	フライアッシュ B 種セメント
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。）		使用済燃料乾式貯蔵建屋	水分（湿度）	76.6	外壁（屋内）	フライアッシュ B 種セメント
		排気筒基礎	外部からのアルカリ供給（塩分）	－	基礎（南西）	普通ポルトランドセメント

平均湿度の測定期間：平成 28 年 2 月 17 日～平成 29 年 2 月 16 日

ただし、使用済燃料乾式貯蔵建屋は平成 29 年 8 月 1 日～平成 29 年 8 月 31 日

※対象の部位の中で、セメントの種類が異なる箇所

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検討した。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ことを踏まえ、強度における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することとした。

強度低下を引き起こす劣化要因として、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、凍結融解がある。劣化状況評価において、強度低下をもたらす可能性がある要因ごとに、強度低下に関する長期使用時の健全性評価を行うことになるが、その評価点となる箇所についてコアサンプルにより強度を確認することは、健全性評価の妥当性の観点で有効であると考えられる。

このことから、表 4. 1. 6-1 に示すように対象の構造物ごとに対象の部位における各劣化要因の影響有無を踏まえ、対象構造物の範囲において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等を強度のコアサンプル採取箇所に選定した。

表 4. 1. 6-1 対象部位ごとの主要な劣化要因による強度コアサンプル採取箇所選定結果

対象構造物	対象の部位	劣化要因							選定した点検箇所
		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	
原子炉建屋等	外壁	○	○	○	○	○	—	△	塩分浸透の点検箇所 (塩分浸透とアルカリ骨材反応の点検箇所は同一)
	内壁及び床	○	○	○	—	○	—	△	中性化深さの点検箇所
	原子炉压力容器ベデスタル又はこれに準ずる部位	○	○	○	—	○	—	△	熱及び放射線照射の評価箇所
	一次遮蔽壁	○	○	○	—	○	—	△	中性化深さの点検箇所
	格納容器底部基礎マット	—	—	○	—	○	—	△	格納容器底部外基礎マットで代替評価
	格納容器底部外基礎マット	—	—	○	—	○	—	△	アルカリ骨材反応の点検箇所
	使用済み燃料プール	○	○	○	—	○	—	△	中性化深さの点検箇所
	ダイヤフラムフロア	○	○	○	—	○	—	△	原子炉压力容器ベデスタルで代替評価
タービン建屋	外壁	○	○	○	○	○	—	△	塩分浸透の点検箇所 (塩分浸透とアルカリ骨材反応の点検箇所は同一)
	内壁及び床	○	○	○	—	○	—	△	中性化深さの点検箇所
	基礎マット	—	—	○	—	○	—	△	アルカリ骨材反応の点検箇所
取水槽	海中帯	—	—	○	○	○	—	△	アルカリ骨材反応の点検箇所
	干満帯	—	—	○	○	○	—	△	塩分浸透の点検箇所 (塩分浸透とアルカリ骨材反応の点検箇所は同一)
	気中帯	—	—	○	○	○	—	△	中性化深さの点検箇所
タービン架台		○	○	○	—	○	○	△	機械振動の評価箇所
使用済燃料乾式貯蔵建屋		○	○	○	—	○	—	△	遮蔽能力の点検箇所
排気筒基礎		—	—	○	○	○	—	△	アルカリ骨材反応の点検箇所

凡例 ○：影響有 △：高経年化対策上着目すべき経年劣化要因でない事象 —：影響無

主要な劣化要因

4. 2 選定結果

点検項目ごとに選定した点検箇所を表 4. 2-1～5 に示す。

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
原子炉建屋等		外壁	屋外上部
		内壁及び床	地下 1 階非常用ディーゼル発電機室 (2C)
		原子炉圧力容器ペデスタル 又はこれに準ずる部位	原子炉圧力容器ペデスタル中間スラブ
		一次遮蔽壁	地下 1 階原子炉格納容器外周部 (東側)
		格納容器底部外基礎マット	原子炉隔離時冷却ポンプ室
		使用済み燃料プール	原子炉冷却材浄化系プリコートタンク室
タービン建屋		外壁	屋外上部
		内壁及び床	地下 1 階空気圧縮機エリア
		基礎マット	低圧ヒーターエリア
取水槽		海中帯	循環水ポンプ B 水槽内側壁
		干満帯	循環水ポンプ B 水槽内側壁
		気中帯	循環水ポンプクレーン基礎
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	タービン建屋内 (タービン架台 を含む。)	タービン架台	相分離母線エリア
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。)		使用済燃料乾式 貯蔵建屋	外壁 (屋内)
		排気筒基礎	基礎 (南西)

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
原子炉建屋等	外壁	5 階（西側）
	一次遮蔽壁	2 階原子炉格納容器外周部（南側）
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。）	使用済燃料乾式貯蔵建屋	外壁（屋内）

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
原子炉建屋等		外壁	5 階（東側）
		内壁及び床	地下 1 階非常用ディーゼル発電機室（2C）
		原子炉圧力容器ペデスタル 又はこれに準ずる部位	原子炉圧力容器ペデスタル中間スラブ
		一次遮蔽壁	地下 1 階原子炉格納容器外周部（東側）
		格納容器底部外基礎マット	低圧炉心スプレイポンプ室
		使用済み燃料プール	原子炉冷却材浄化系プリコートタンク室
タービン建屋		外壁	地下 1 階東側通路
		内壁及び床	地下 1 階空気圧縮機エリア
		基礎マット	ヒータードレンポンプ室
取水槽		海中帯	循環水ポンプ B 水槽内側壁
		干満帯	循環水ポンプ B 水槽内側壁
		気中帯	循環水ポンプクレーン基礎
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	タービン建屋内 （タービン架台 を含む。）	タービン架台	復水移送ポンプエリア
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。）		使用済燃料乾式 貯蔵建屋	外壁（屋内）
		排気筒基礎	基礎（南西）

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
原子炉建屋等	外壁	屋外上部
タービン建屋	外壁	屋外上部
取水槽	海中帯	循環水ポンプ B 水槽内側壁
	干満帯	循環水ポンプ B 水槽内側壁
	気中帯	循環水ポンプクレーン基礎
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。）	排気筒基礎	基礎（南西）

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
原子炉建屋等		外壁	屋外上部
		内壁及び床	主蒸気トンネル室
		原子炉圧力容器ペデスタル 又はこれに準ずる部位	原子炉圧力容器ペデスタル中間スラブ
		一次遮蔽壁	2階原子炉格納容器外周部（南側）
		格納容器底部外基礎マット	原子炉隔離時冷却ポンプ室
		使用済み燃料プール	原子炉冷却材浄化系プリコートタンク室
タービン建屋		外壁	屋外上部
		内壁及び床	低圧ヒーターエリア
		基礎マット	低圧ヒーターエリア
取水槽		海中帯	循環水ポンプ B 水槽内側壁
		干満帯	循環水ポンプ B 水槽内側壁
		気中帯	循環水ポンプクレーン基礎
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	タービン建屋内（タービン架台を含む。）	タービン架台	相分離母線エリア
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。）		使用済燃料乾式貯蔵建屋	外壁（屋内）
		排気筒基礎	基礎（南西）

5. 点検結果

点検結果を表 5-1～5 に示す。

表 5-1 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		点検年月日 () 内は データ採取日
			圧縮強度 (N/mm ²)	平均圧縮強度 (N/mm ²)	
原子炉建屋等		外壁		51.1	平成29年10月13日 (平成29年3月31日)
		内壁及び床		50.0	平成29年10月13日 (平成29年3月31日)
		原子炉圧力容器 ベデスタル又は これに準ずる部位		39.3	平成29年10月13日 (平成28年12月2日)
		一次遮蔽壁		50.5	平成29年10月13日 (平成27年11月10日)
		格納容器底部外 基礎マット		44.6	平成29年10月13日 (平成29年3月31日)
		使用済み燃料 プール		49.7	平成29年10月13日 (平成27年11月10日)
タービン建屋		外壁		48.2	平成29年10月13日 (平成29年3月31日)
		内壁及び床		33.9	平成29年10月13日 (平成29年9月27日)
		基礎マット		32.0	平成29年10月13日 (平成29年3月31日)
取水槽		海中帯		29.1	平成29年10月13日 (平成26年12月5日)
		干満帯		34.6	平成29年10月13日 (平成26年12月5日)
		気中帯		35.7	平成29年10月13日 (平成26年12月5日)
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	タービン建屋内 (タービン架台 を含む。)	タービン架台		37.0	平成29年10月13日 (平成26年12月5日)
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。）		使用済燃料乾式 貯蔵建屋		24.8	平成29年10月13日 (平成28年8月1日)
		排気筒基礎		24.9	平成29年10月13日 (平成26年12月5日)

表 5-2 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		点検年月日 () 内は データ採取日
		乾燥単位 容積質量 (t/m ³)	平均乾燥単位 容積質量 (t/m ³)	
原子炉建屋等	外壁		2.261	平成29年10月13日 (平成28年11月16日)
	一次遮蔽壁		2.230	平成29年10月13日 (平成29年3月6日)
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。)	使用済燃料乾式貯蔵建屋		2.188	平成29年10月13日 (平成28年11月16日)

表 5-3 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		点検年月日 ()内は データ採取日
		中性化深さ (mm)	平均中性化深さ (mm)	
原子炉建屋等	外壁		28.4	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)
	内壁及び床		15.3	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)
	原子炉压力容器 ベデスタル又は これに準ずる部位		1.7	平成29年10月13日 (平成29年2月20日)
	一次遮蔽壁		31.9	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)
	格納容器底部外 基礎マット		1.1	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)
	使用済み燃料 プール		3.6	平成29年10月13日 (平成27年11月12日)
タービン建屋	外壁		39.6	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)
	内壁及び床		24.8	平成29年10月13日 (平成29年9月27日)
	基礎マット		1.7	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)
取水槽	海中帯		1.5	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)
	干満帯		0.0	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)
	気中帯		10.3	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)
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	タービン建屋内 (タービン架台 を含む。)	タービン架台	2.8	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)
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。)	使用済燃料乾式 貯蔵建屋		20.9	平成29年10月13日 (平成29年9月27日)
	排気筒基礎		7.5	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)

表 5-4 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	点検結果							点検年月日 () 内は データ採取日
		塩化物イオン量 (kg/m ³) (塩化物イオン濃度 (%))							
		表面からの深さ (mm)							
		5～ 15	15～ 25	25～ 35	45～ 55	65～ 75	95～ 105	145～ 155	
原子炉建屋等	外壁	0.57 (0.03)	0.35 (0.02)	0.28 (0.01)	0.20 (0.01)	0.15 (0.01)	0.18 (0.01)	0.20 (0.01)	平成29年10月13日 (平成29年4月4日)
タービン建屋	外壁	0.36 (0.02)	0.20 (0.01)	0.16 (0.01)	0.11 (0.00)	0.13 (0.01)	0.11 (0.01)	0.07 (0.00)	平成29年10月13日 (平成29年4月4日)
取水槽	海中帯	2.15 (0.09)	1.95 (0.09)	1.72 (0.08)	1.44 (0.06)	1.03 (0.05)	0.57 (0.03)	0.23 (0.01)	平成29年10月13日 (平成26年12月18日)
	干満帯	1.89 (0.08)	2.58 (0.11)	1.98 (0.09)	1.37 (0.06)	1.09 (0.05)	0.39 (0.02)	0.11 (0.00)	平成29年10月13日 (平成26年12月18日)
	気中帯	1.57 (0.07)	2.44 (0.11)	2.14 (0.09)	1.37 (0.06)	0.89 (0.04)	0.30 (0.01)	0.11 (0.00)	平成29年10月13日 (平成27年12月8日)
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。)	排気筒基礎	0.34 (0.02)	0.34 (0.02)	0.30 (0.01)	0.23 (0.01)	0.20 (0.01)	0.18 (0.01)	0.23 (0.01)	平成29年10月13日 (平成29年10月10日)

表 5-5 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	実体顕微鏡観察結果	点検年月日 () 内は データ採取日
原子炉建屋等	外壁		1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
	内壁及び床		1	平成29年10月13日 (平成28年1月21日)
	原子炉圧力容器ベドスタル 又はこれに準ずる部位		1	平成29年10月13日 (平成28年12月2日)
	一次遮蔽壁		1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
	格納容器底部外基礎マット		1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
	使用済み燃料プール		1	平成29年10月13日 (平成28年1月21日)
タービン建屋	外壁		1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
	内壁及び床		1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
	基礎マット		1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
取水槽	海中帯		1	平成29年10月13日 (平成28年1月21日)
	干満帯		1	平成29年10月13日 (平成28年1月21日)
	気中帯		1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
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	タービン建屋内 (タービン架台を含む。)		1	平成29年10月13日 (平成28年1月21日)
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。)		使用済燃料乾式貯蔵建屋	1	平成29年10月13日 (平成28年11月10日)
		排気筒基礎	1	平成29年10月13日 (平成28年1月21日)

結果の凡例： 1. 反応性なし 2. 反応性あり

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、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。

また、この点検により、これまでの高経年化技術評価において点検を実施してきた範囲・点検項目に加え、点検を実施していない範囲・点検項目についてもコアサンプルによる確認を実施し、新た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活用していく。

【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 平成 29 年 9 月 20 日 原規規発第 1709202 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）2015 年 9 月「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）」
- 3) 原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案（JNES-RE-2013-2050，平成 26 年 2 月）
- 4) 株式会社太平洋コンサルタント HP
(<http://www.taiheiyo-c.co.jp/business/business05/business0507/>)
- 5) 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 ASR に関する対策検討委員会）
- 6) 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）

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. コンクリート密度計算結果

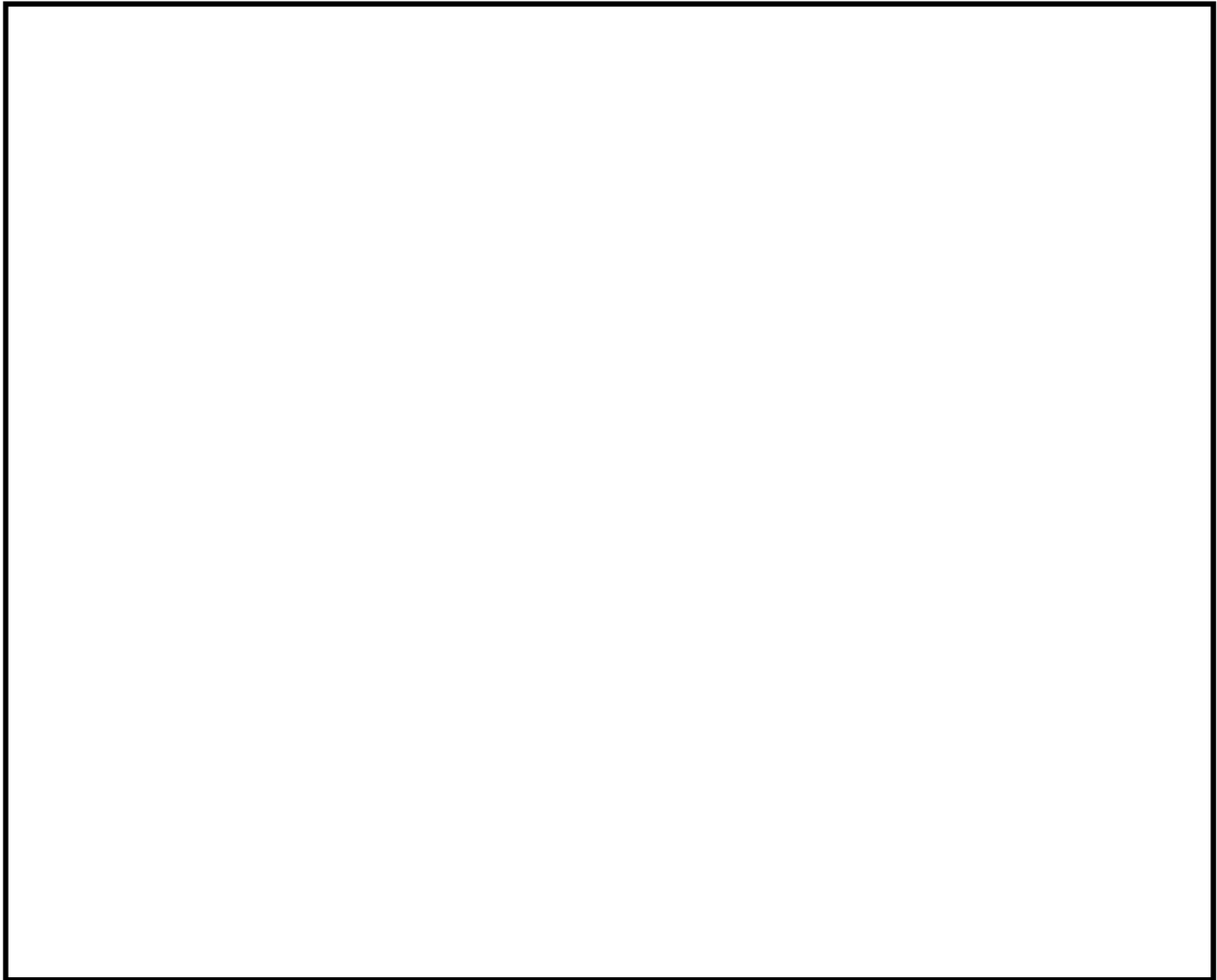
別紙 1. 特別点検実施箇所

- 凡例
- ▼● : 強度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
 - ▼● : アリカリ骨材反応コアサンプル採取箇所
- (▽ : 壁面, ○ : 床面)



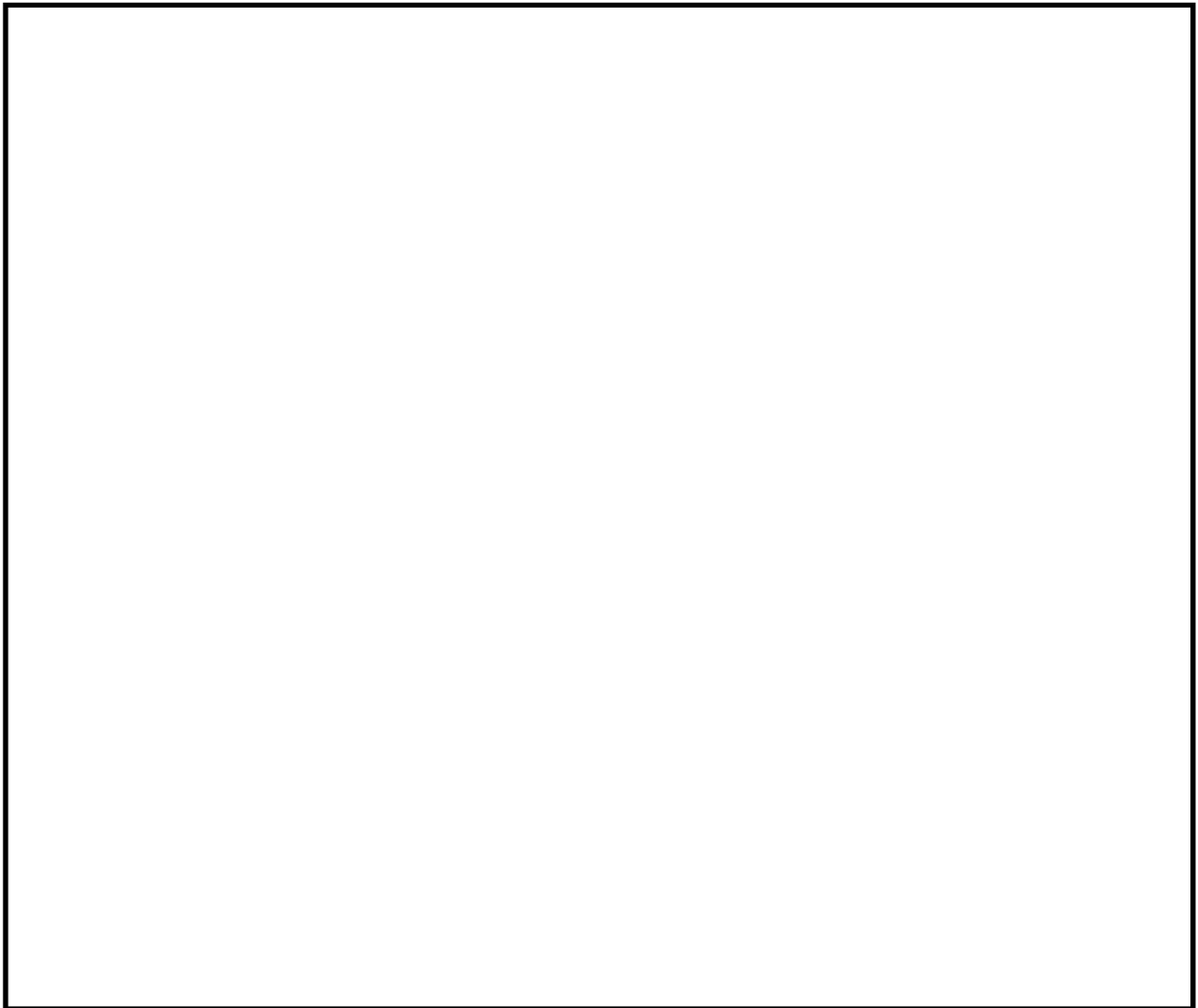
図－別紙 1－1 特別点検実施箇所
(原子炉建屋 EL-4.0m, タービン建屋 EL-1.6m)

凡例 ▼：強度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
 (▽：壁面)



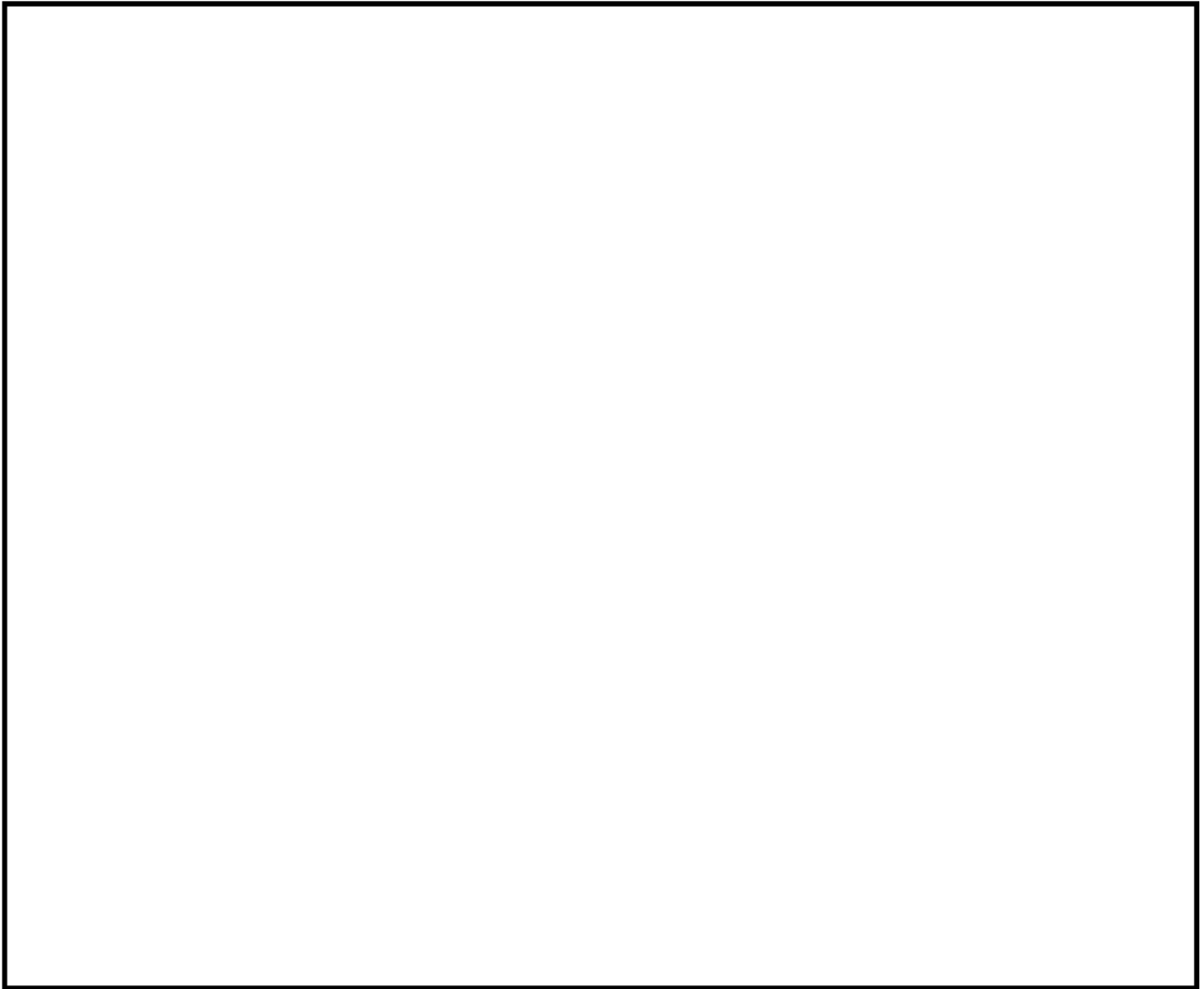
図－別紙 1－2 特別点検実施箇所
(原子炉建屋 EL+2.0m)

凡例 ▼：強度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
 (▽：壁面)



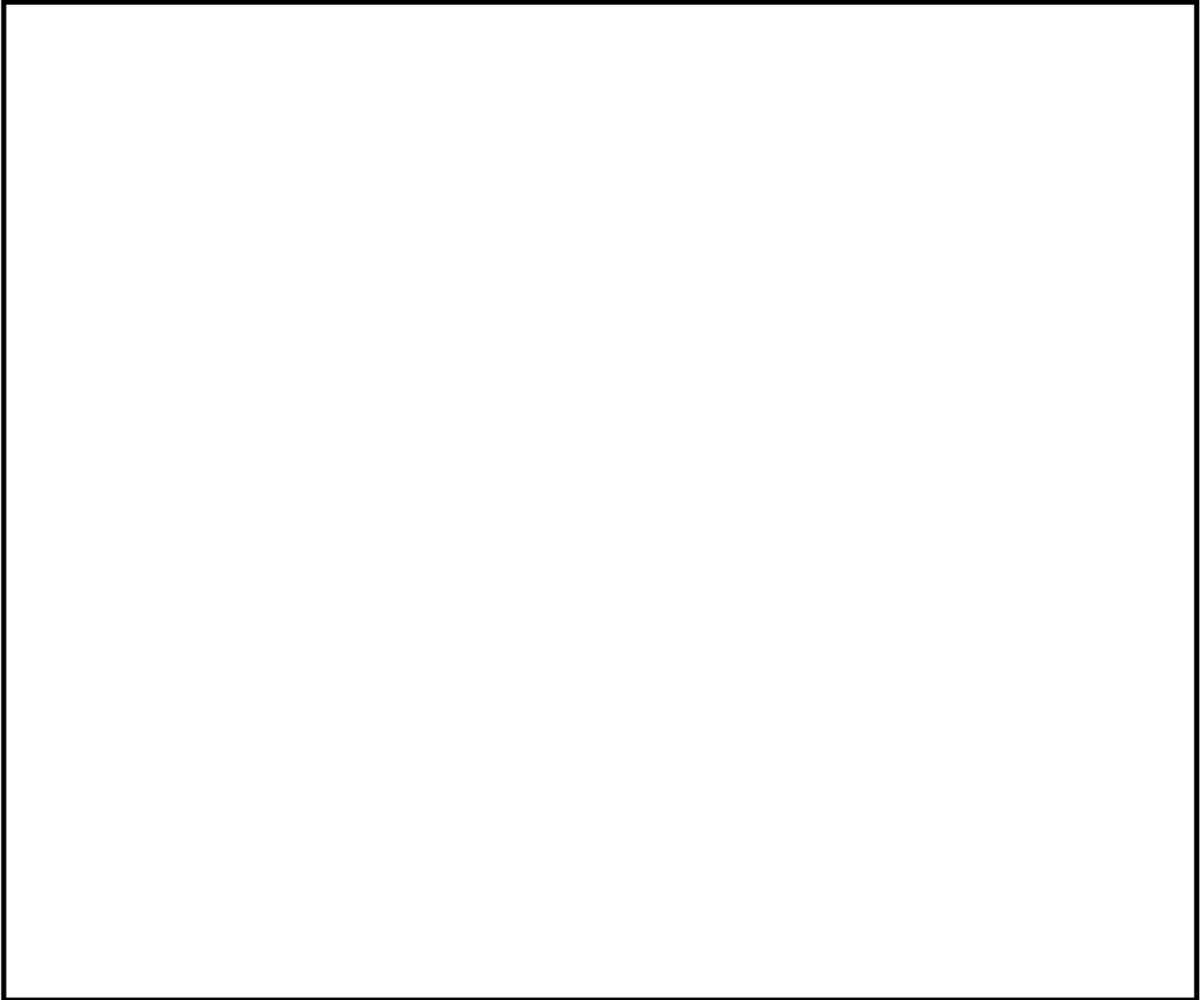
図－別紙 1－3 特別点検実施箇所
(原子炉建屋 EL+8.2m, タービン建屋 EL+8.2m)

- 凡例 ●：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
▼●：アリカリ骨材反応コアサンプル採取箇所
(▽：壁面, ○：床面)



図－別紙 1－4 特別点検実施箇所
(原子炉建屋 EL+14.0m)

- 凡例
- ▼：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
 - ▼：アリカリ骨材反応コアサンプル採取箇所
- (▽：壁面)

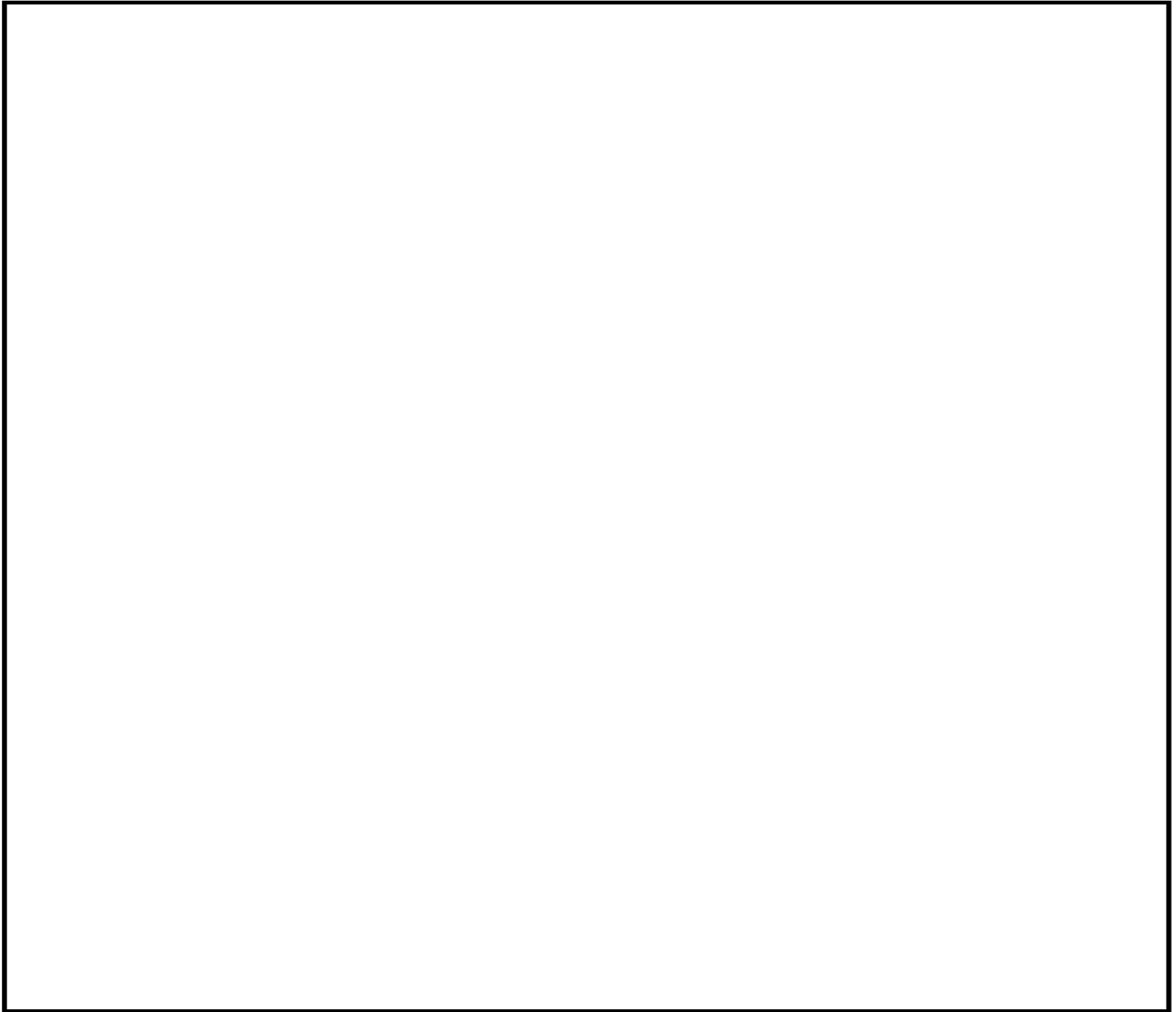


図－別紙 1－5 特別点検実施箇所
(原子炉建屋 EL+38.8m)



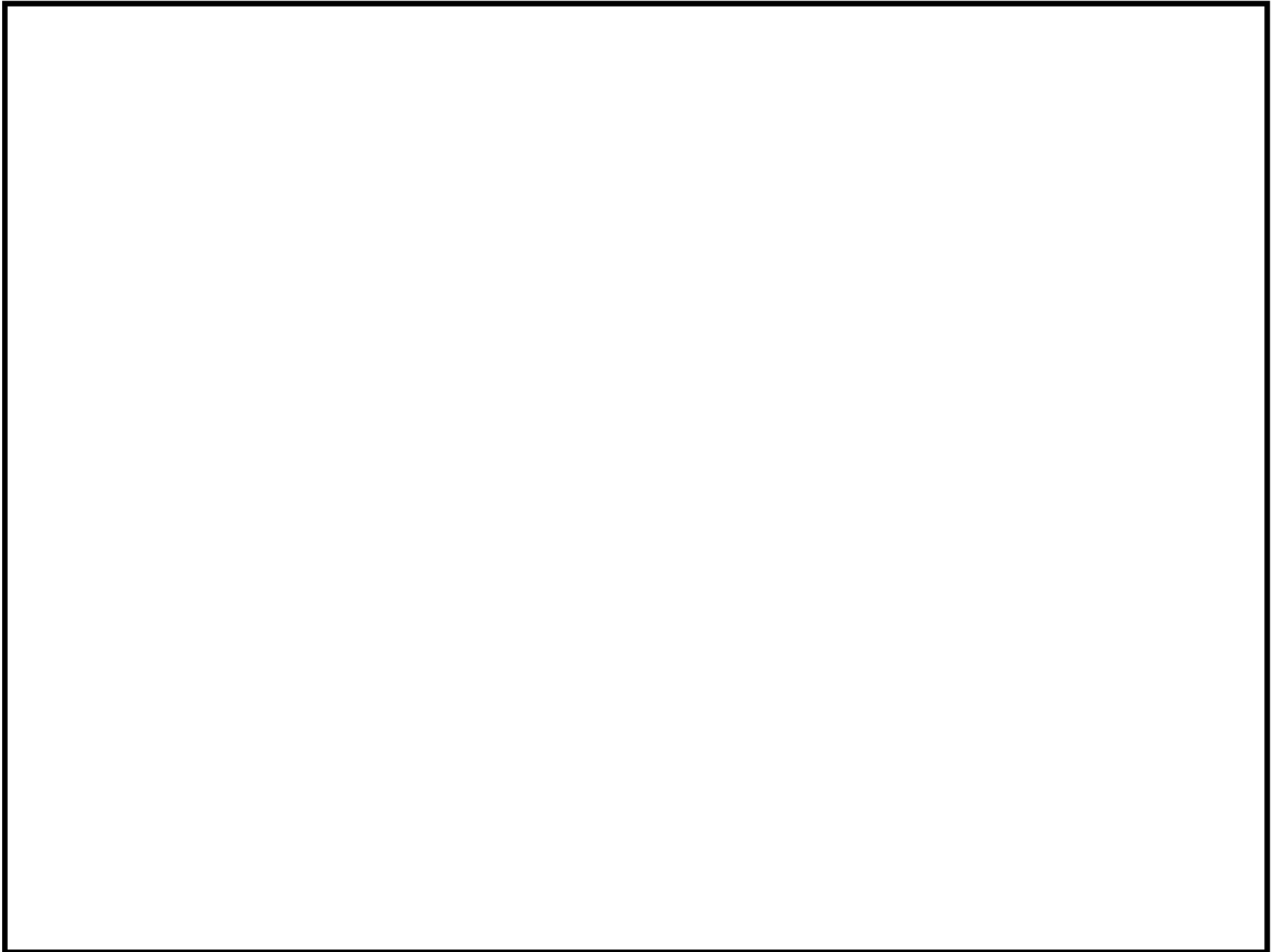
– 42 –

- 凡例
- ▼：強度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
 - ▼：アリカリ骨材反応コアサンプル採取箇所
- (▽：壁面)



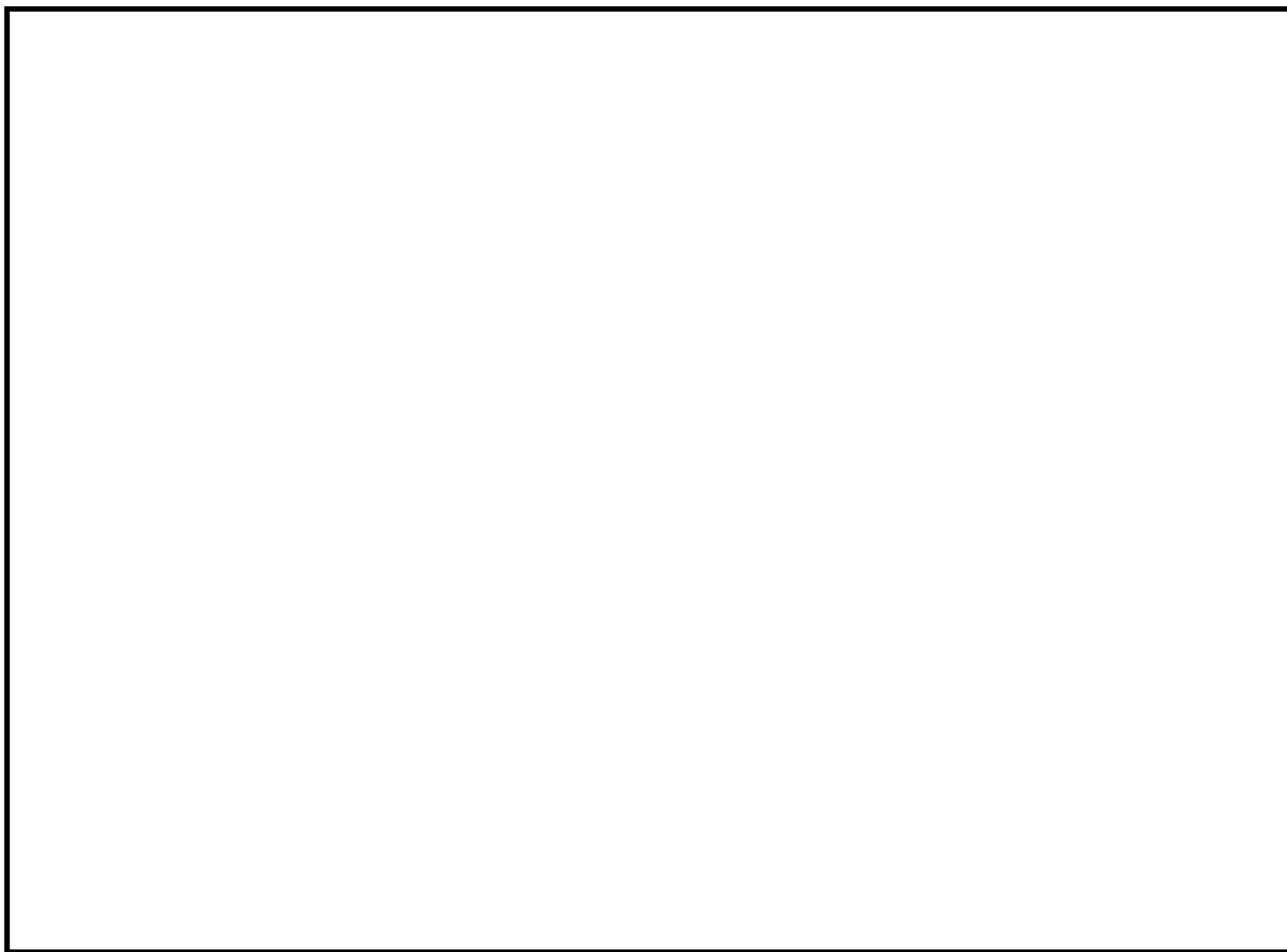
図－別紙 1－7 特別点検実施箇所
(取水槽 平面)

- 凡例
- ▼：強度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
 - ▼：アリカリ骨材反応コアサンプル採取箇所
- (▽：壁面)



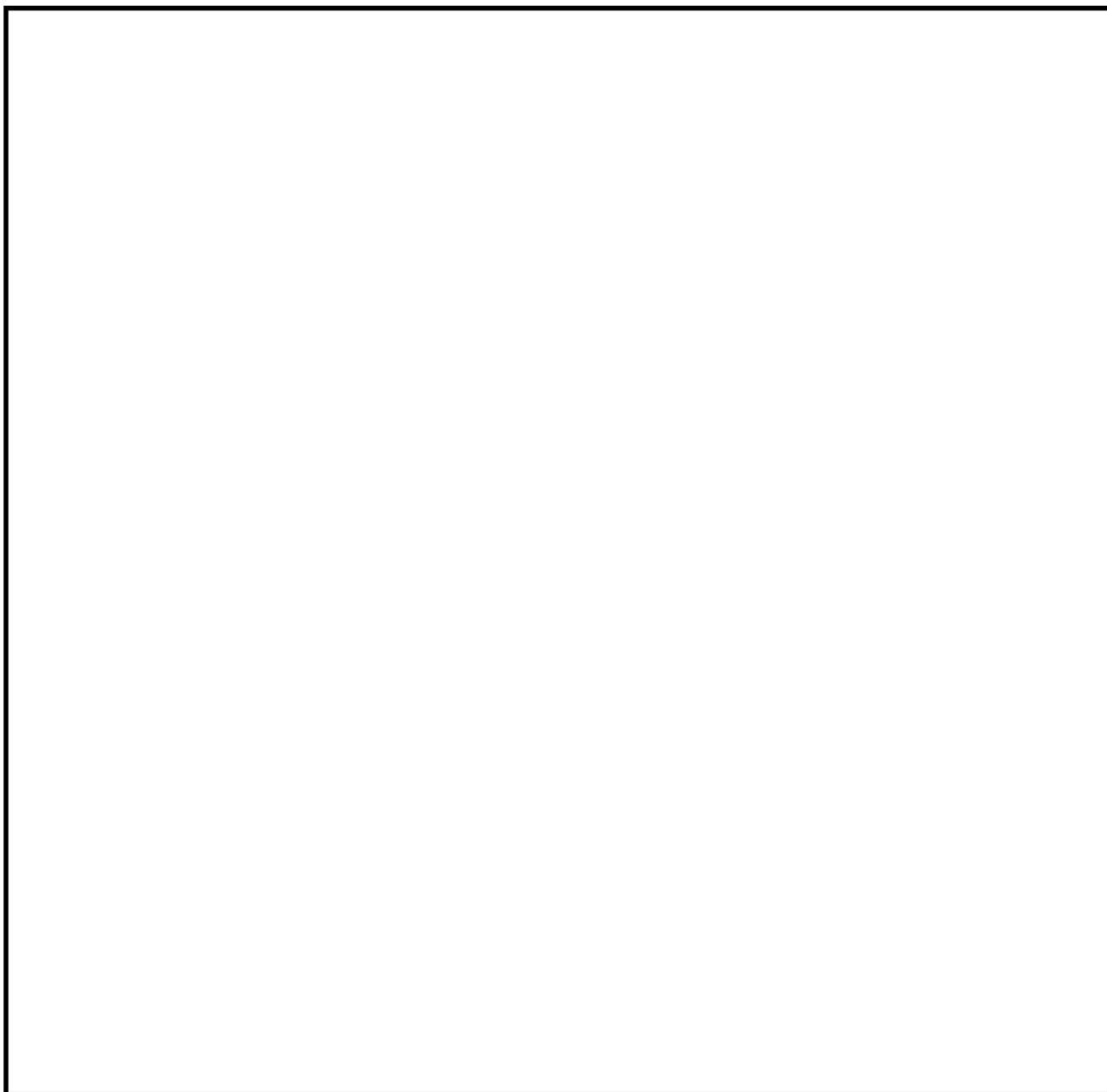
図－別紙 1－8 特別点検実施箇所
(取水槽 断面)

- 凡例
- ▼：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
 - ▼：アリカリ骨材反応コアサンプル採取箇所
- (▽：壁面)



図－別紙 1－9 特別点検実施箇所
(使用済燃料乾式貯蔵建屋)

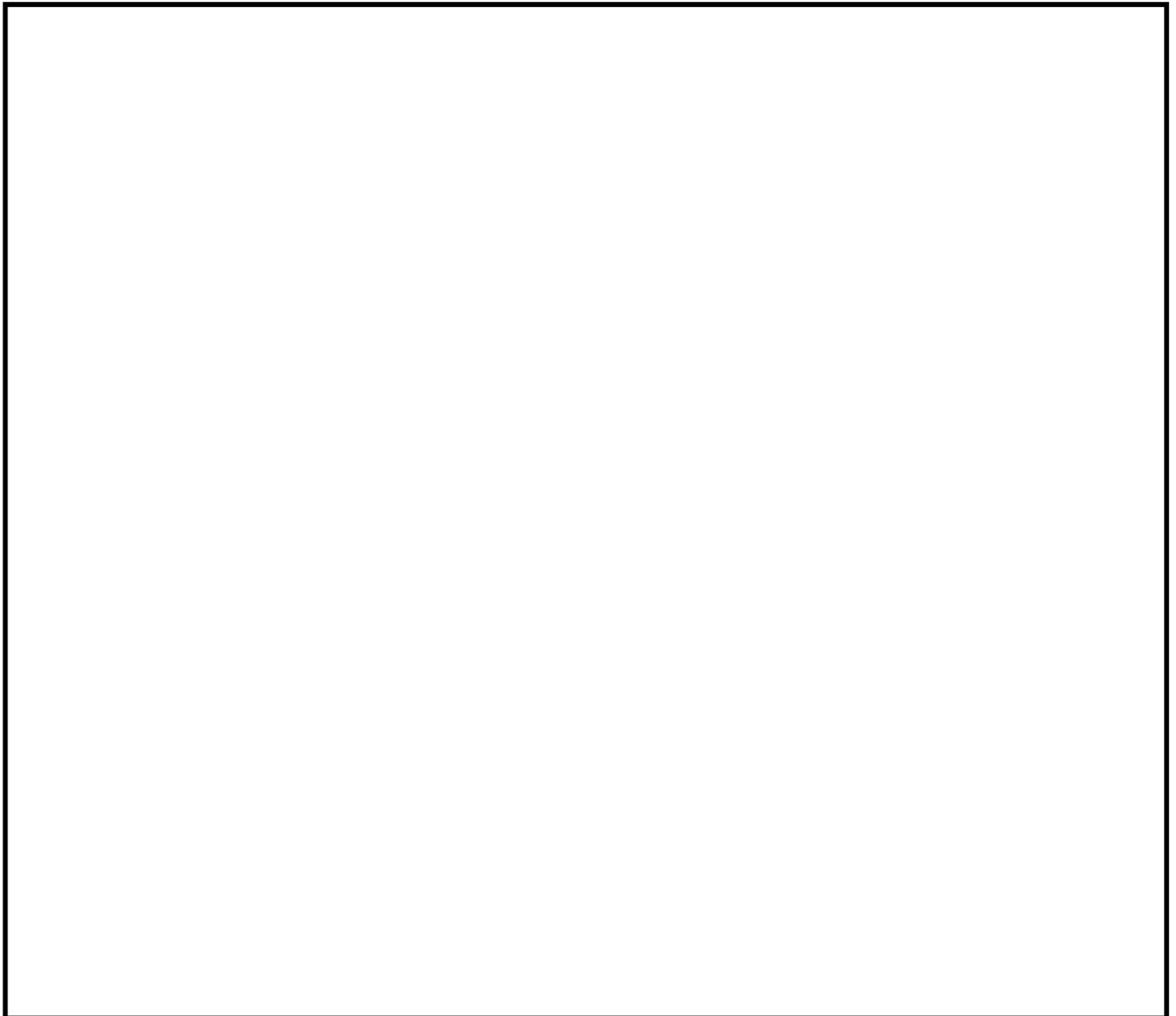
- 凡例
- ▼：強度コアサンプル採取箇所
 - ▼：中性化深さコアサンプル採取箇所
 - ▼：塩分浸透コアサンプル採取箇所
 - ▼：アリカリ骨材反応コアサンプル採取箇所
- (▽：壁面)



図－別紙 1－10 特別点検実施箇所
(排気筒基礎)

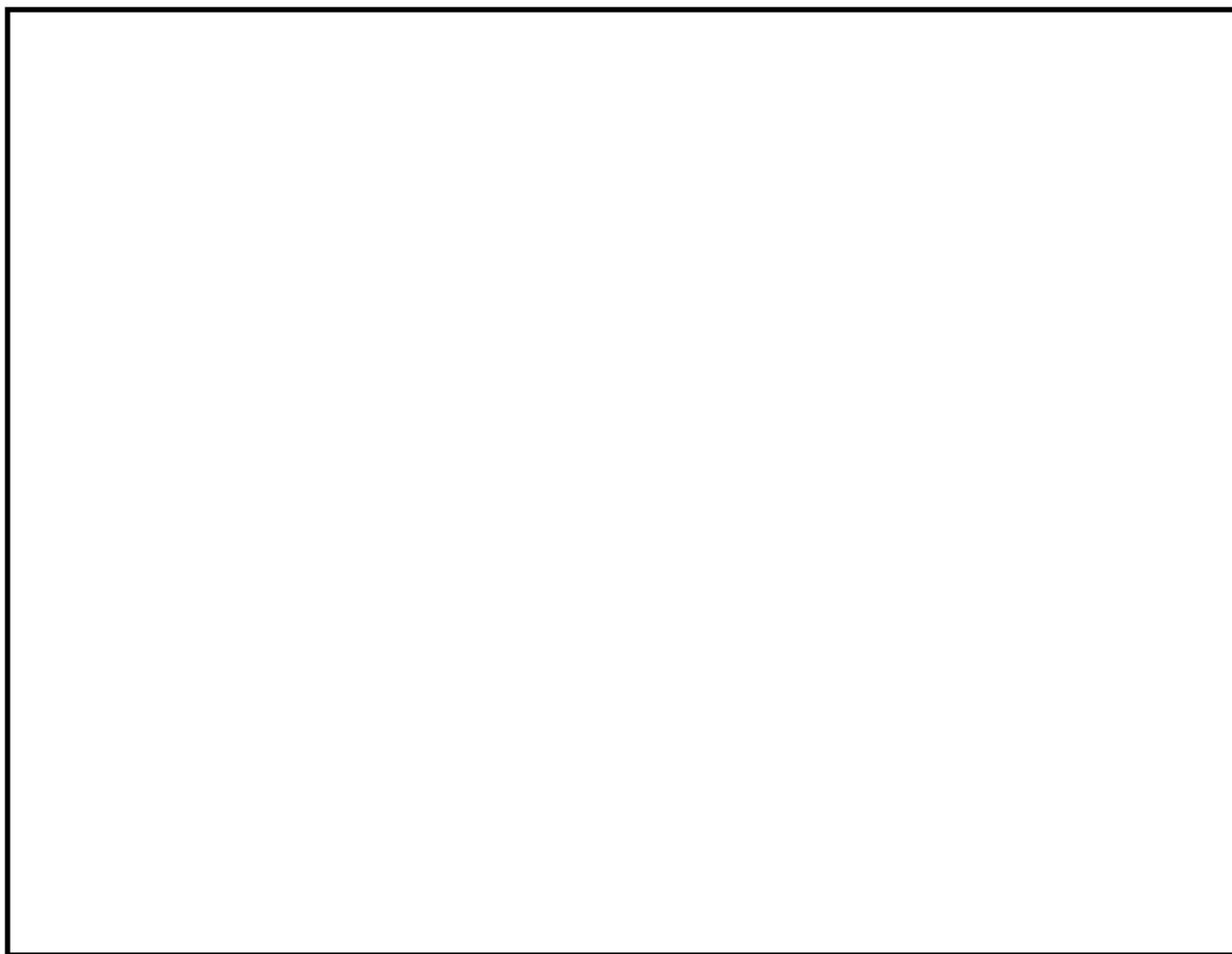
別紙 2. 遮蔽能力における非破壊試験箇所

凡例 ▼ : 非破壊試験実施箇所
(▽ : 壁面)



図一別紙 2－1 非破壊試験実施箇所（遮蔽能力）
（原子炉建屋 EL+38.8m）

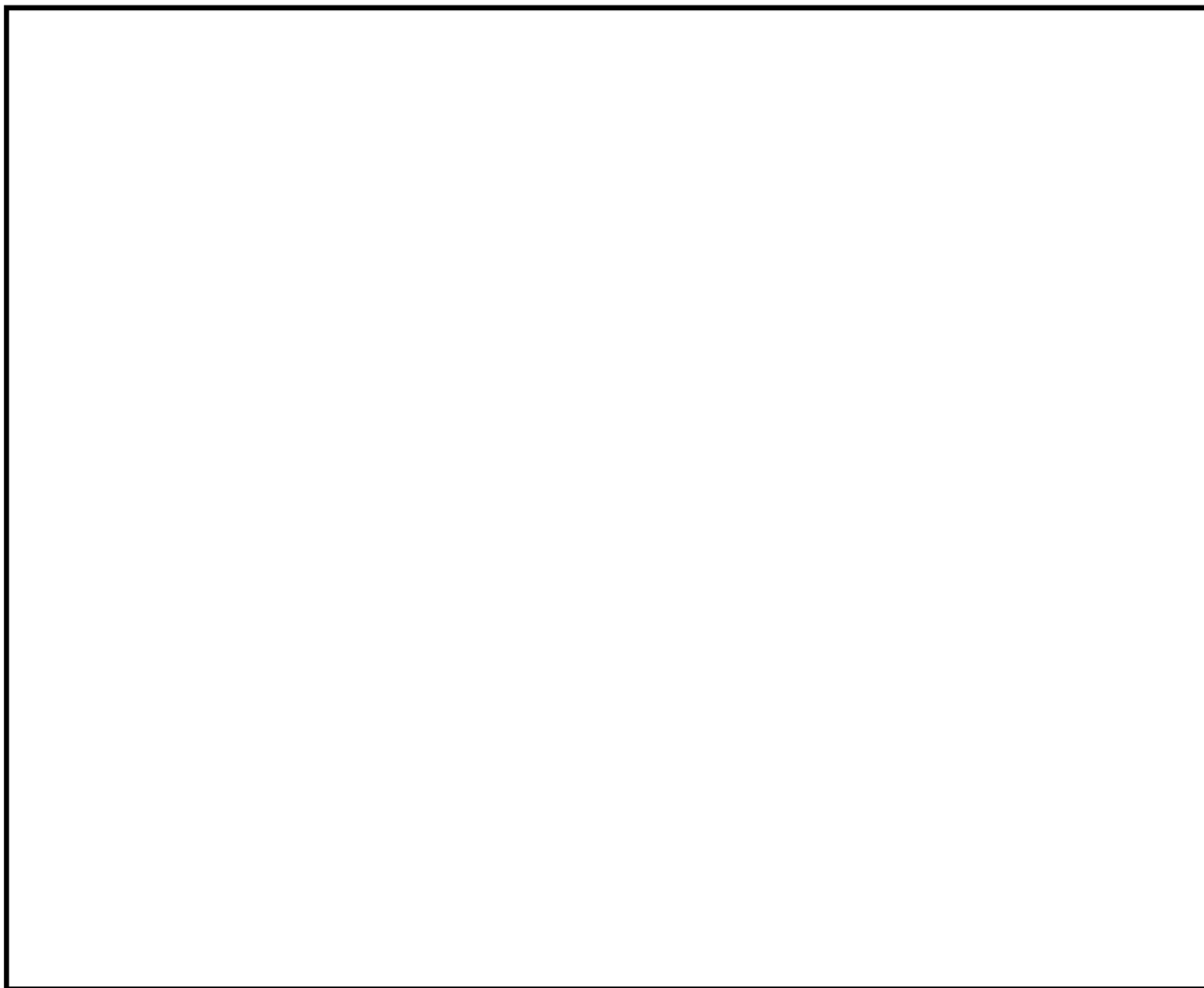
凡例 ▼：非破壊試験実施箇所
(▽：壁面)



図一別紙 2-2 非破壊試験実施箇所（遮蔽能力）
（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

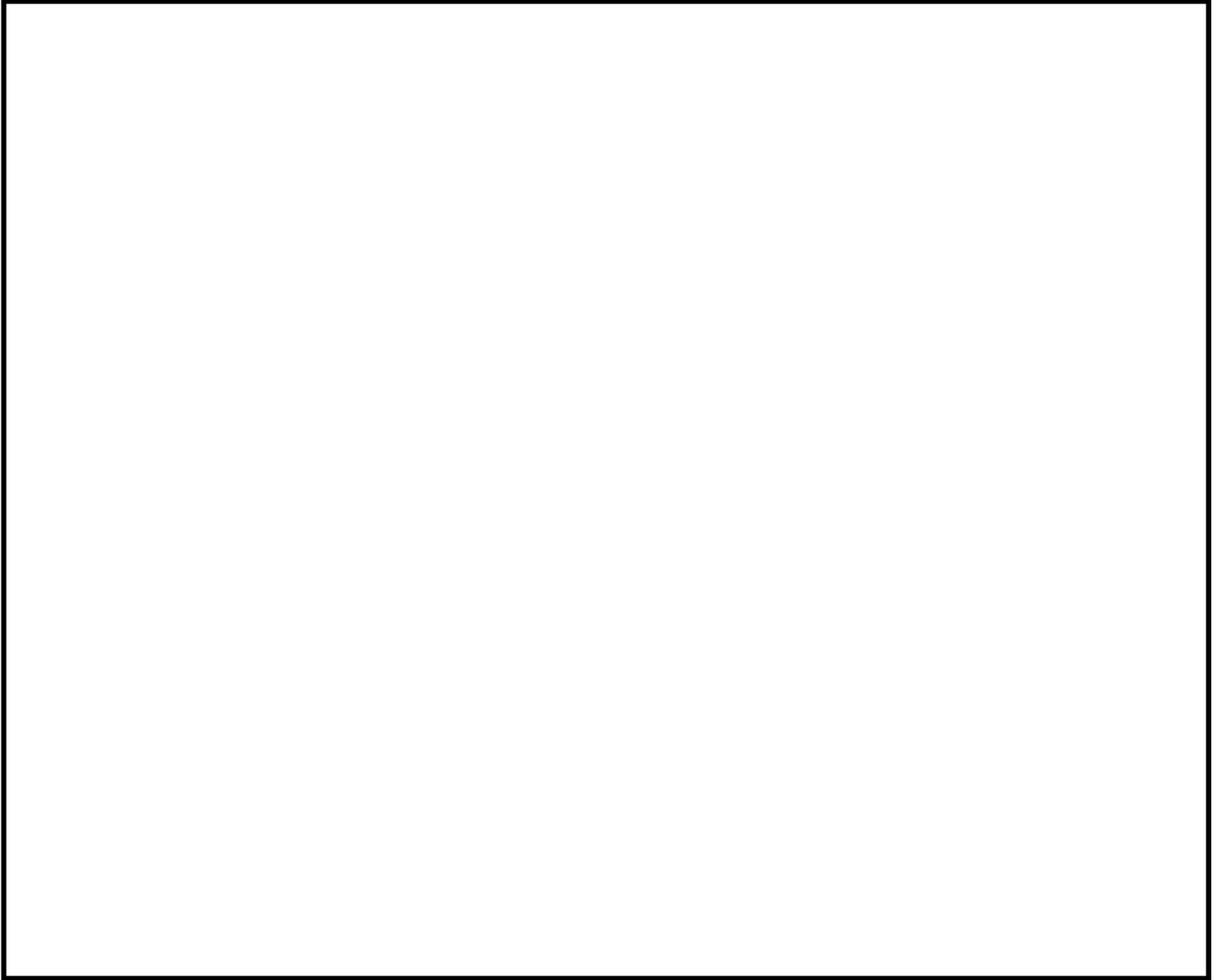
別紙 3. 空気環境測定箇所

凡例 ● : 空気環境測定箇所



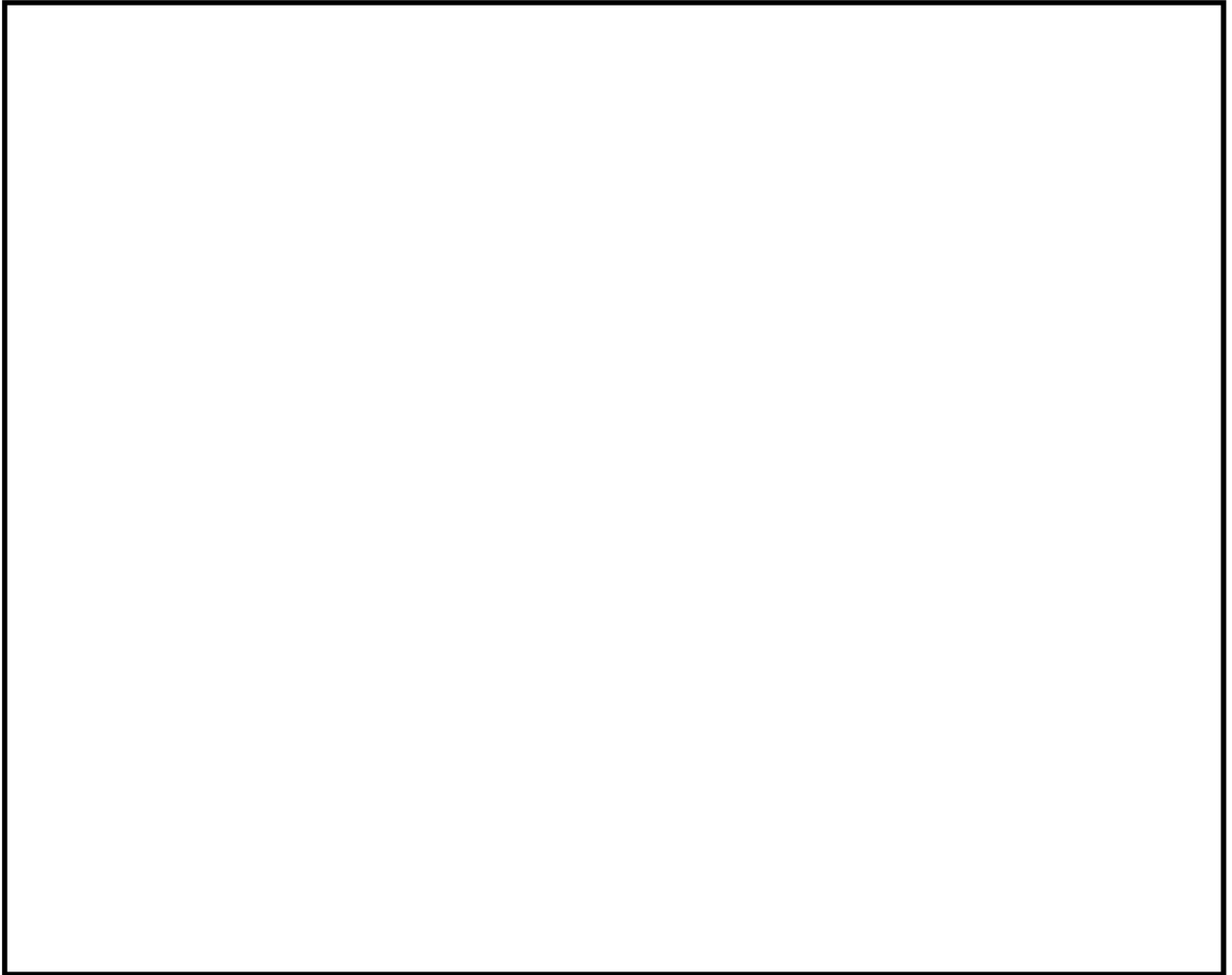
図－別紙 3－1 空気環境測定箇所 (1／10)
(原子炉建屋 EL-4.0m, タービン建屋 EL-1.6m)

凡例 ●：空氣環境測定箇所



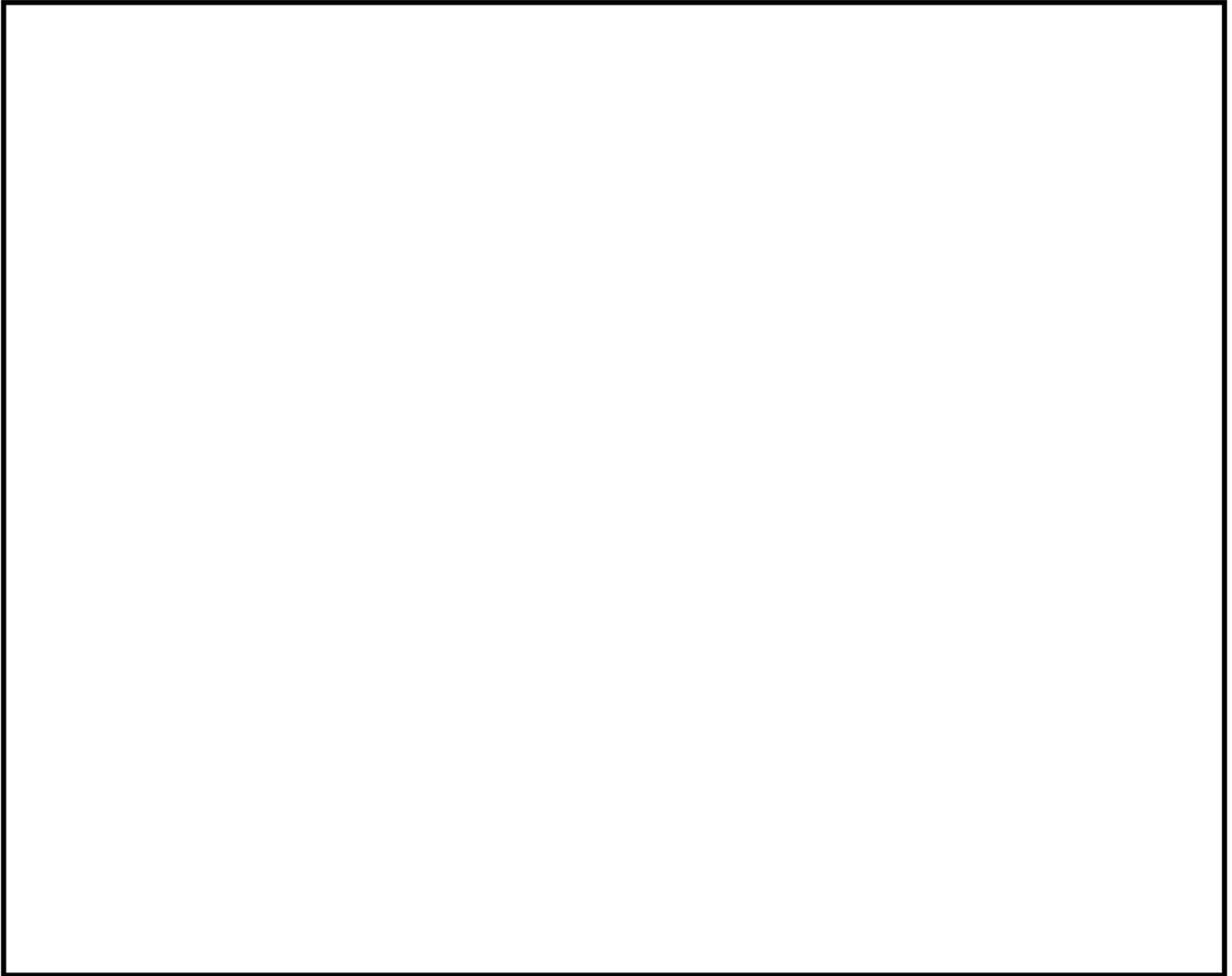
図－別紙 3－2 空氣環境測定箇所 (2／10)
(原子炉建屋 EL+2.0m)

凡例 ● : 空気環境測定箇所



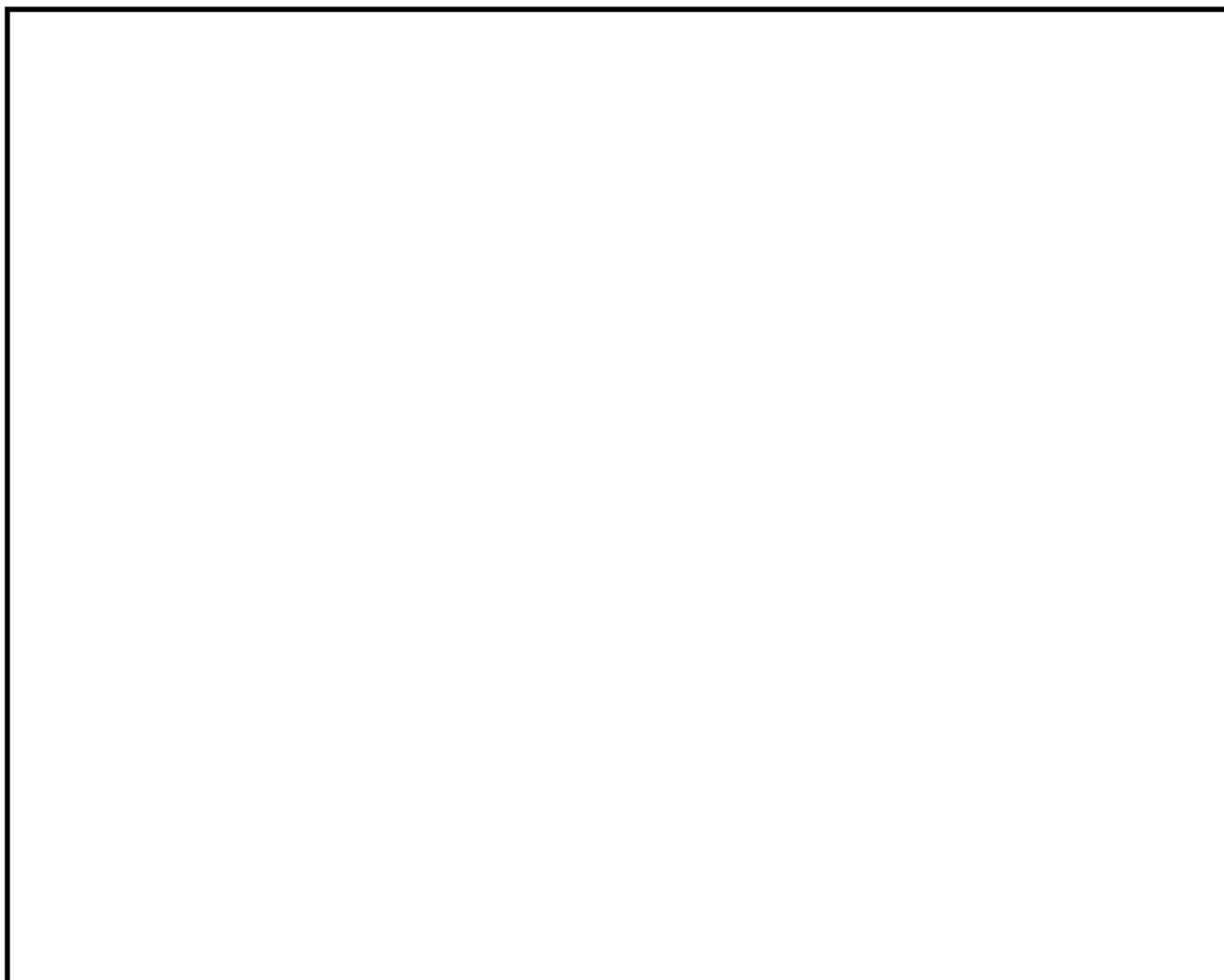
図－別紙 3－3 空気環境測定箇所 (3／10)
(原子炉建屋 EL+8.2m, タービン建屋 EL+8.2m)

凡例 ●：空氣環境測定箇所



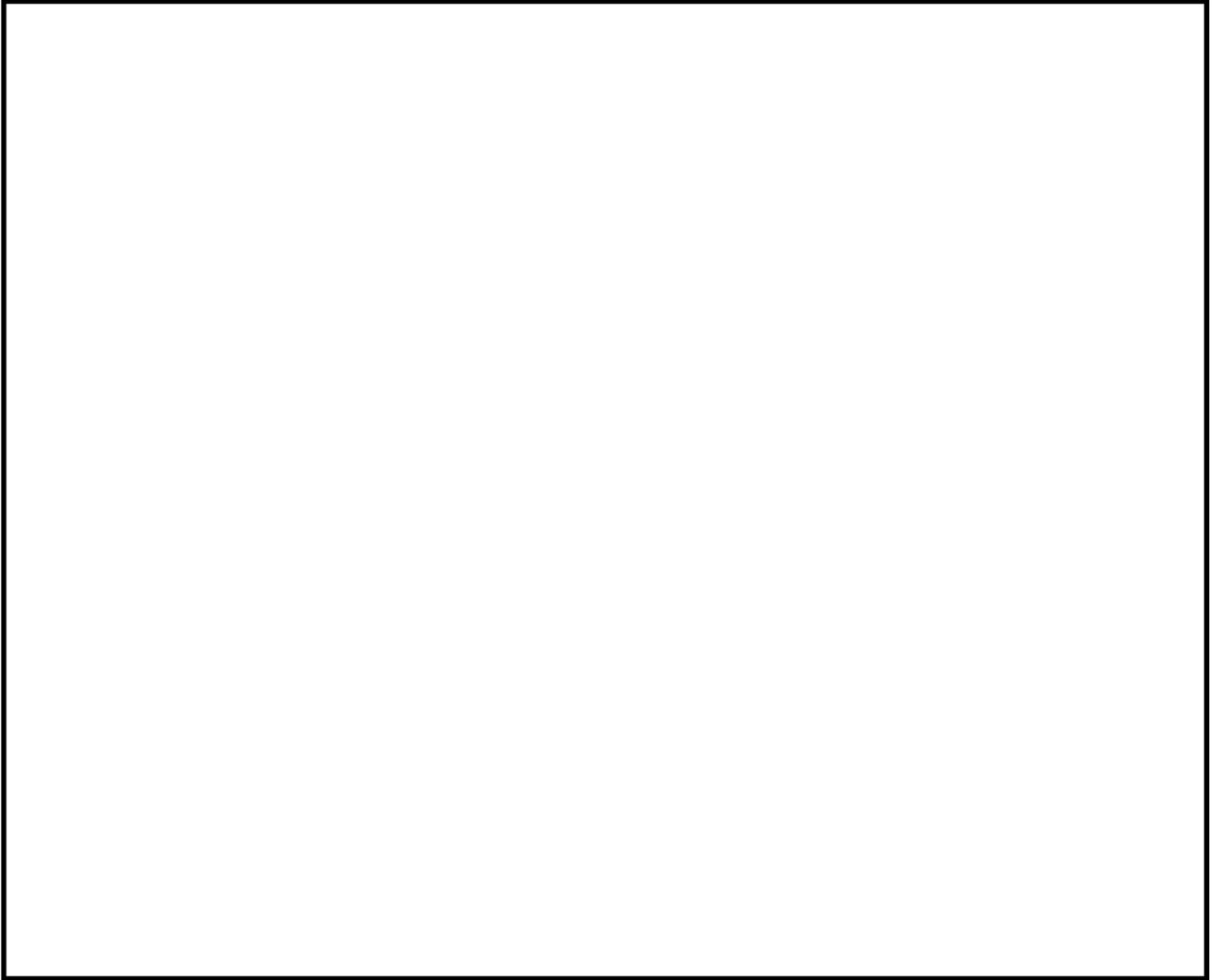
図－別紙 3－4 空氣環境測定箇所 (4／10)
(原子炉建屋 EL+14.0m)

凡例 ● : 空気環境測定箇所



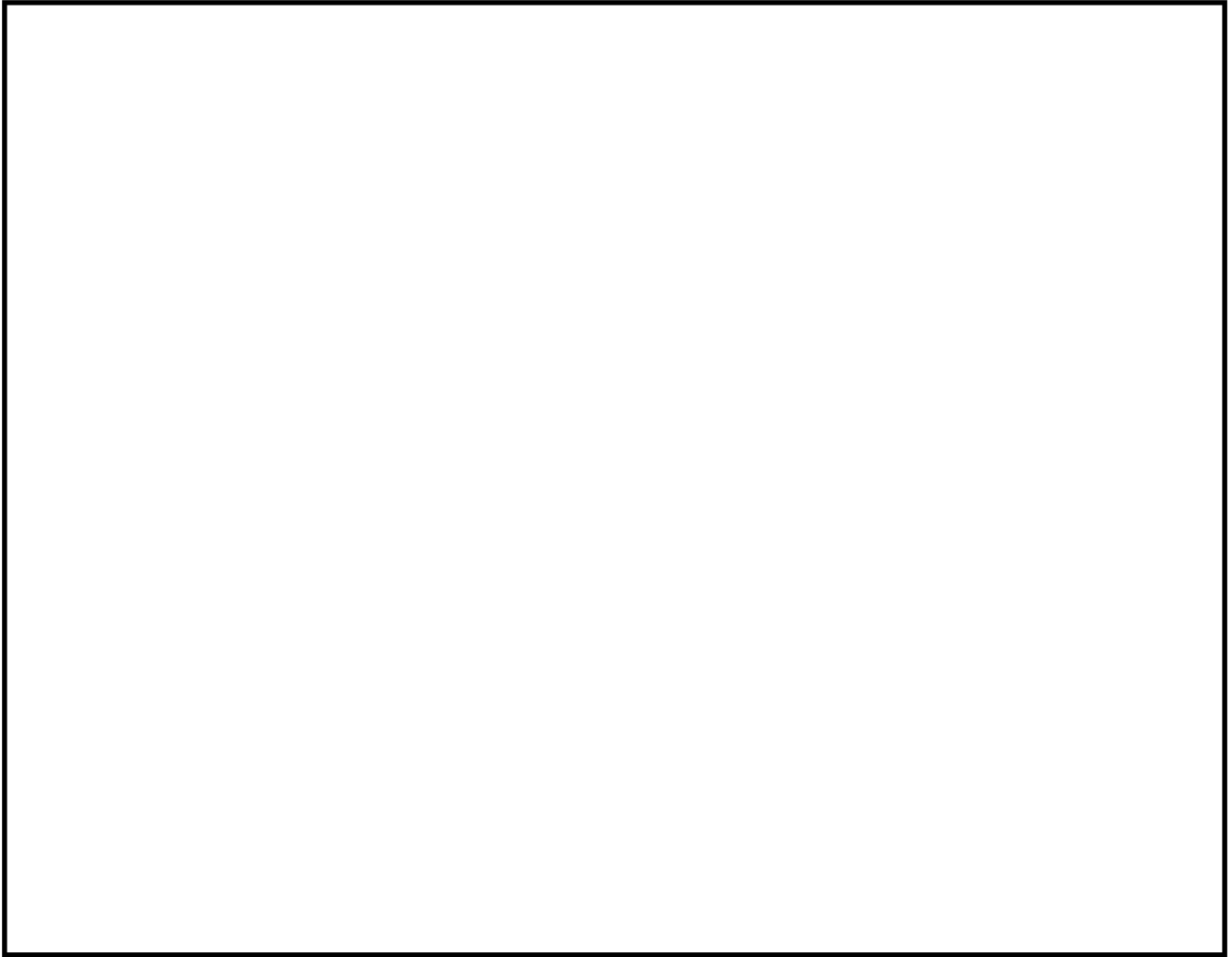
図－別紙 3－5 空気環境測定箇所 (5／10)
(タービン建屋 EL+18.0m)

凡例 ●：空氣環境測定箇所



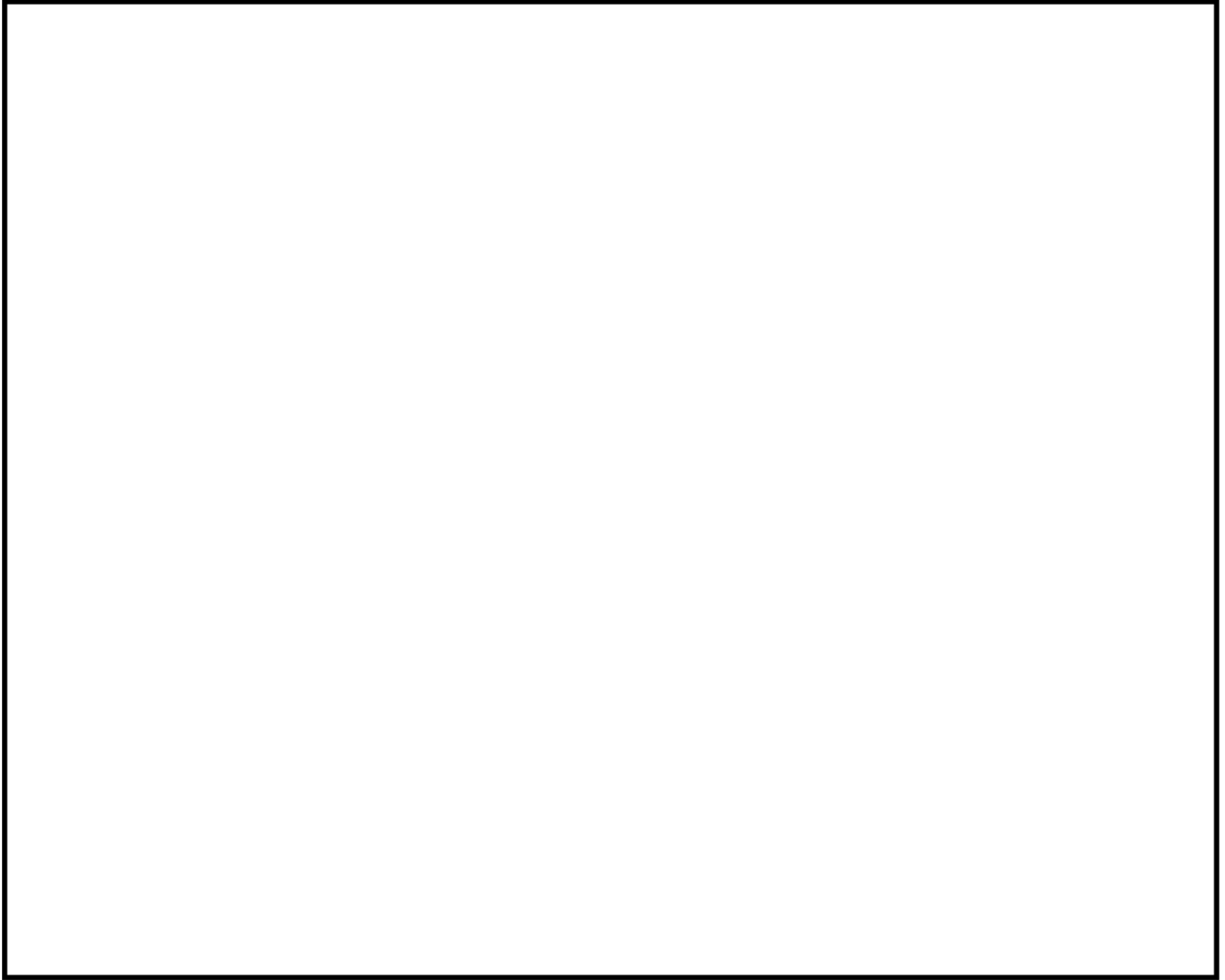
図－別紙 3－6 空氣環境測定箇所 (6／10)
(原子炉建屋 EL+20.3m)

凡例 ●：空氣環境測定箇所



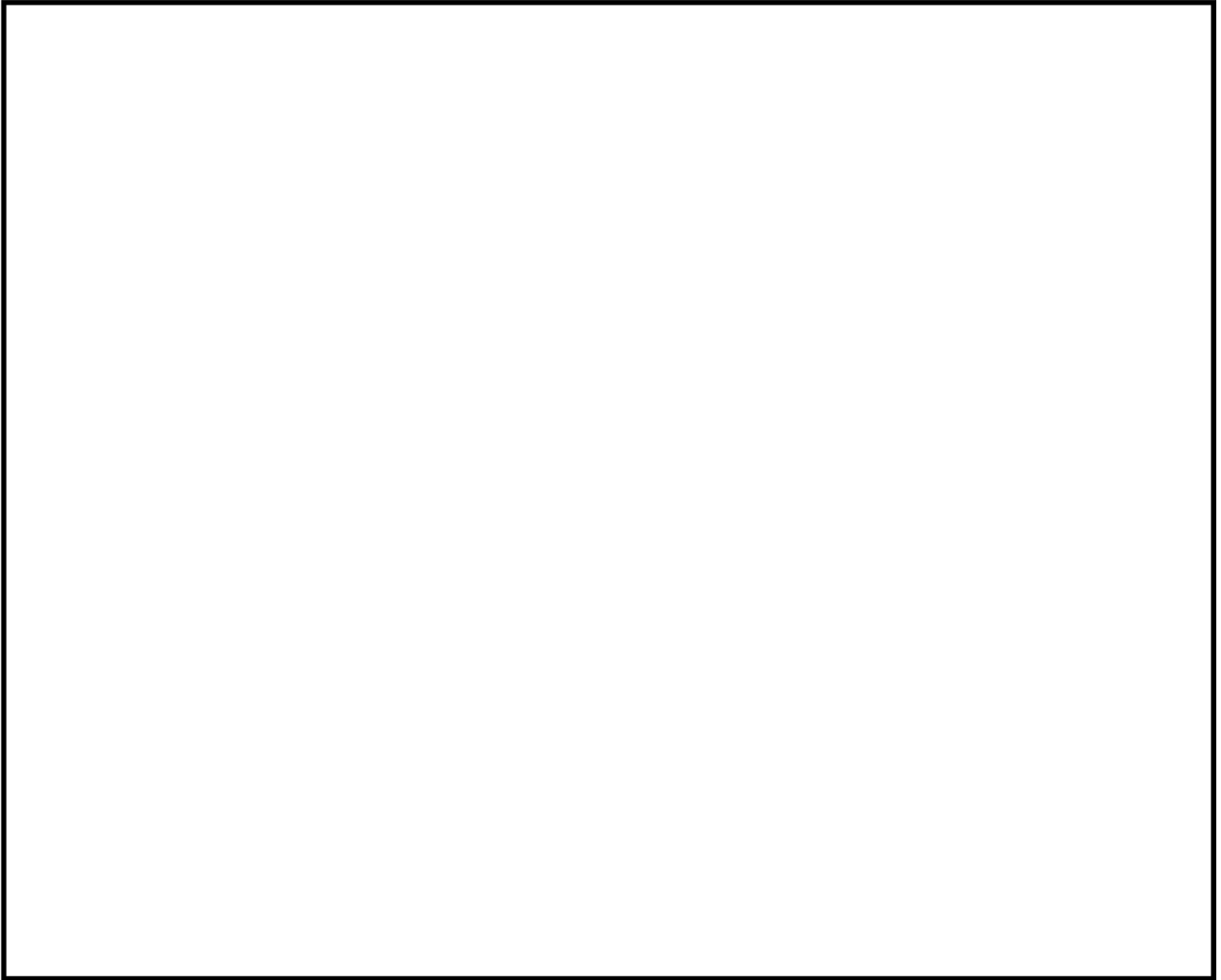
図－別紙 3－7 空氣環境測定箇所 (7／10)
(原子炉建屋 EL+29.0m)

凡例 ●：空氣環境測定箇所



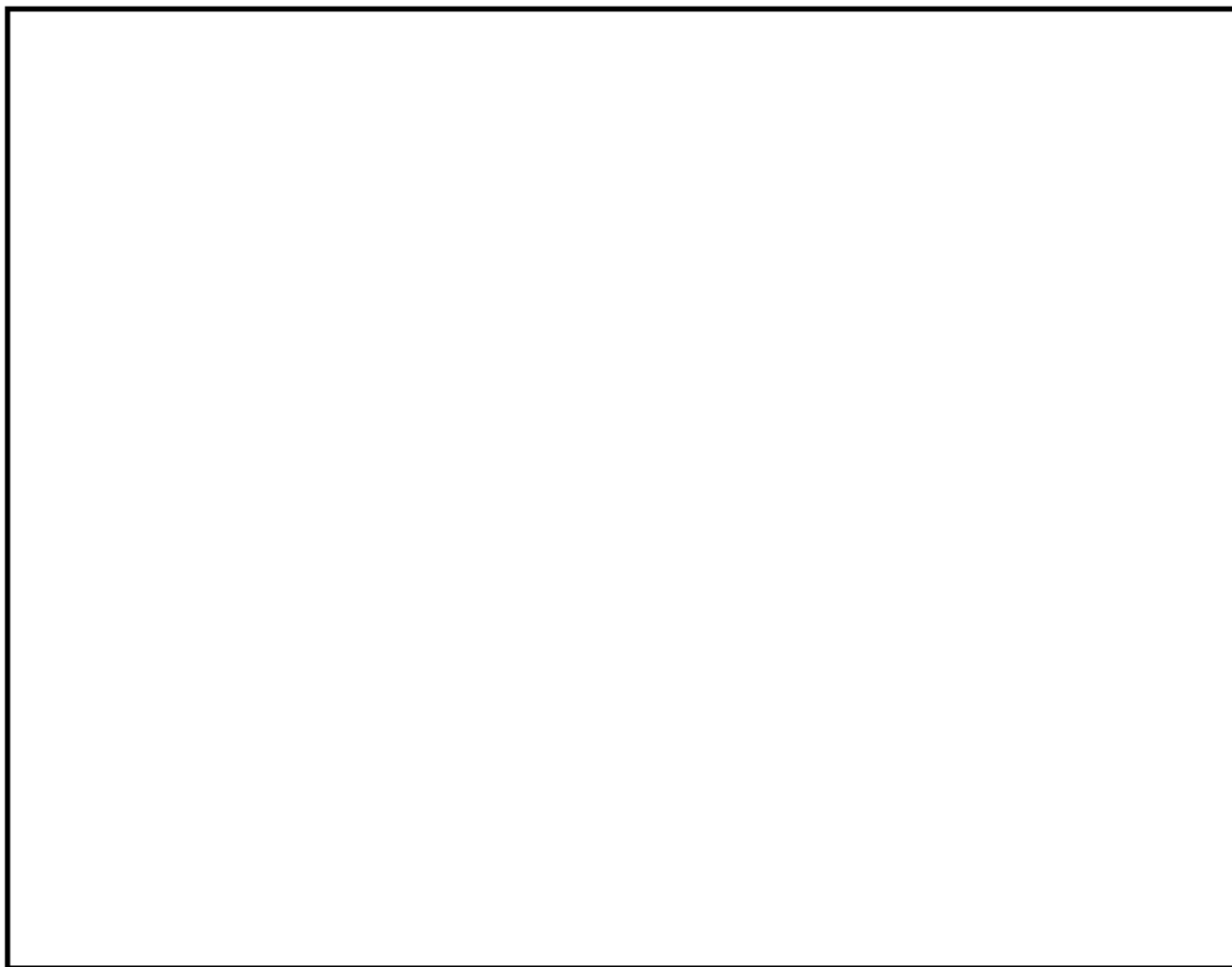
図－別紙 3－8 空氣環境測定箇所 (8／10)
(原子炉建屋 EL+38.8m)

凡例 ●：空氣環境測定箇所



図－別紙 3－9 空氣環境測定箇所 (9／10)
(原子炉建屋 EL+46.5m)

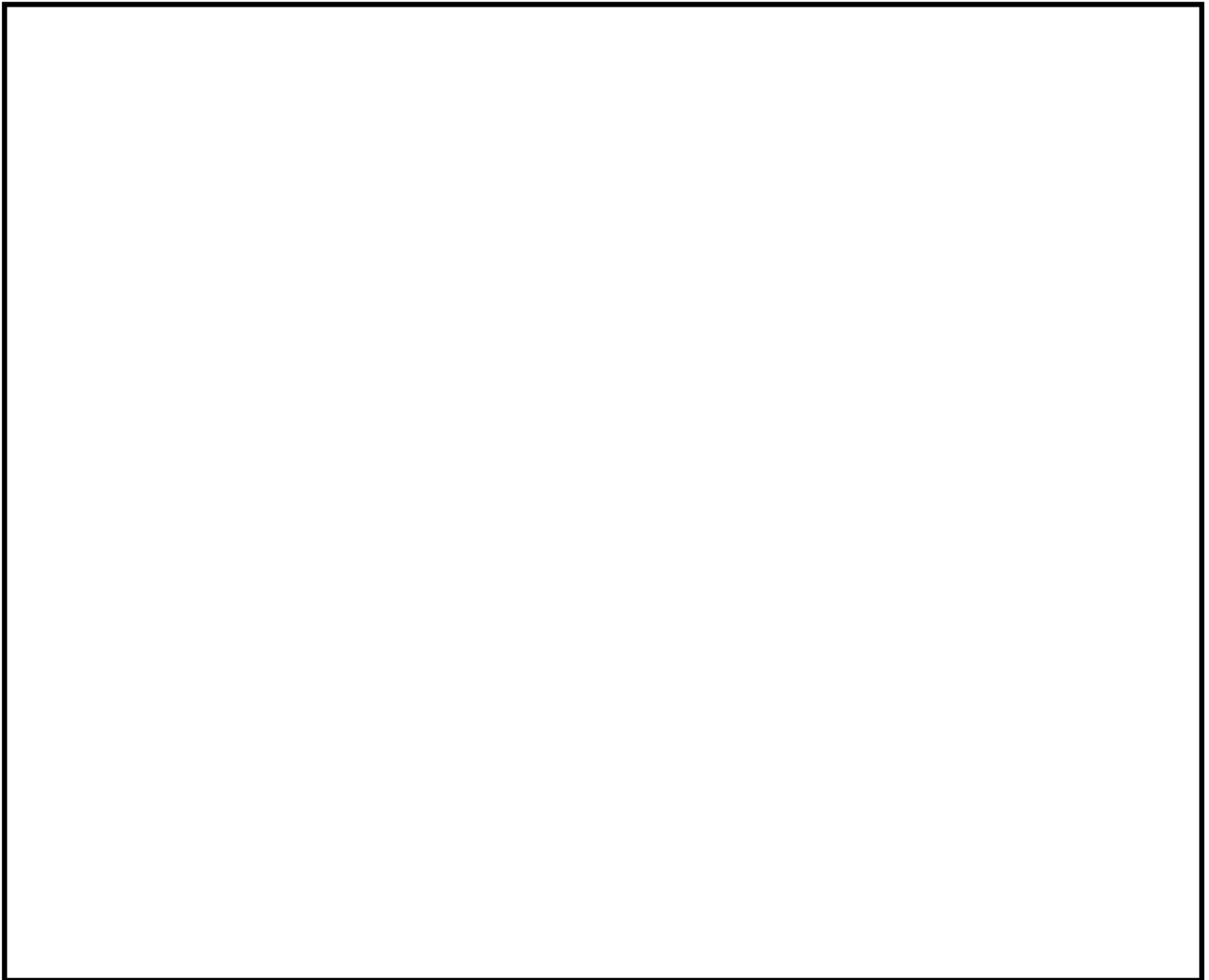
凡例 ●：空氣環境測定箇所



図一別紙 3-10 空氣環境測定箇所 (10/10)
(使用済燃料乾式貯蔵建屋)

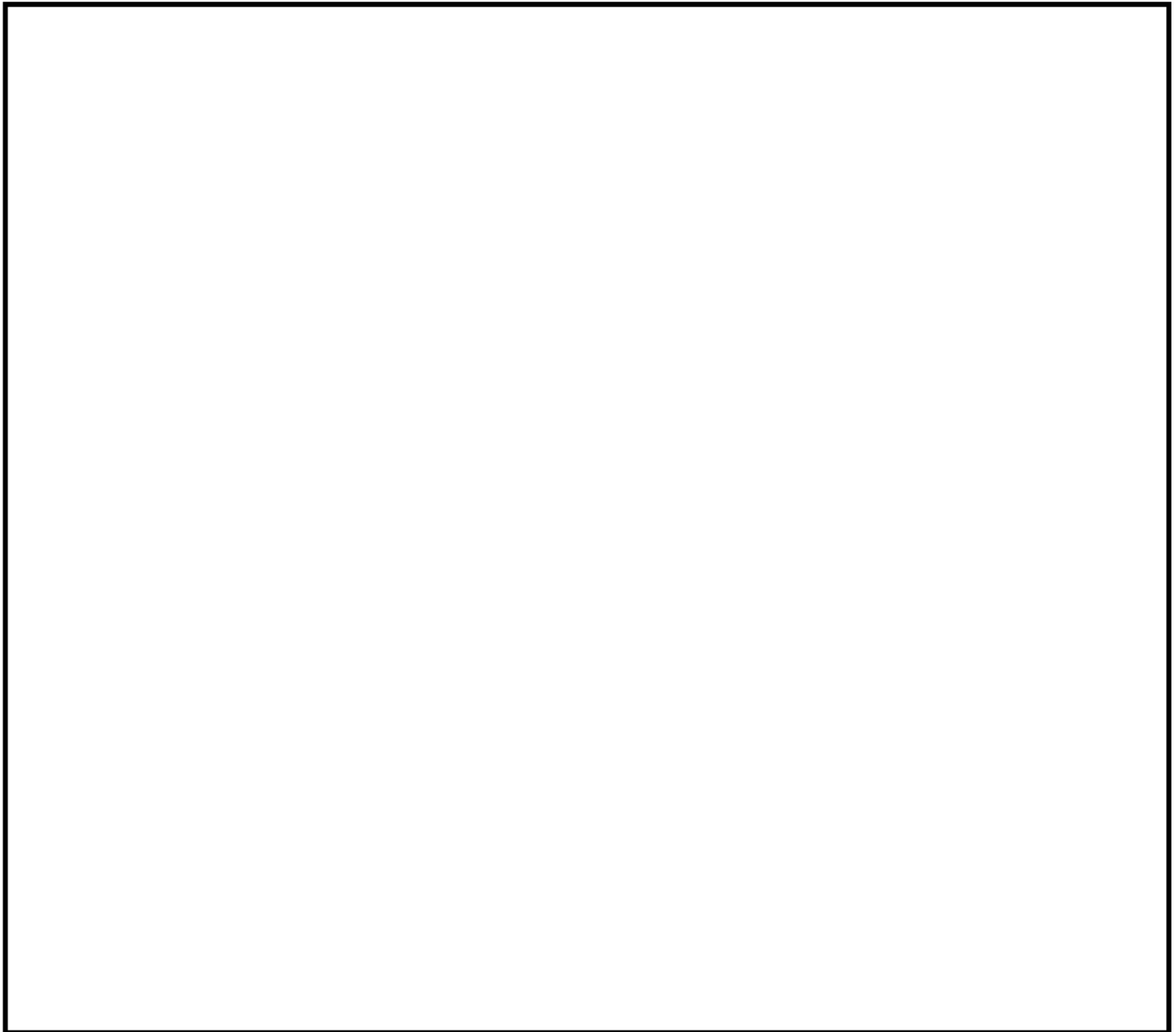
別紙 4. 中性化深さにおける非破壊試験実施箇所

凡例 ▼：非破壊試験実施箇所
(▽：壁面)



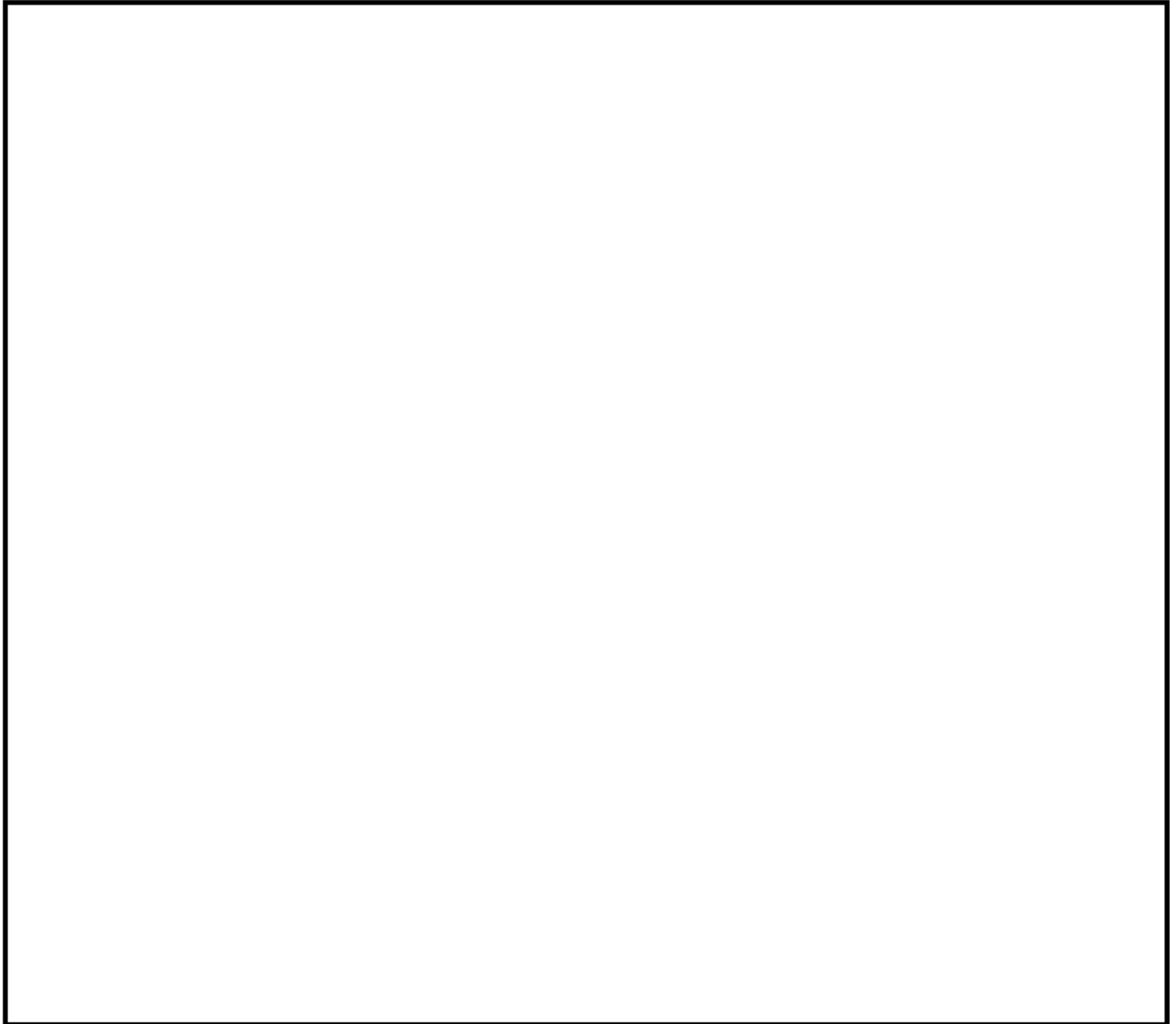
図一別紙 4-1 非破壊試験実施箇所（中性化深さ）
(原子炉建屋 EL-4.0m, タービン建屋 EL-1.6m)

凡例 ▼：非破壊試験実施箇所
(▽：壁面)



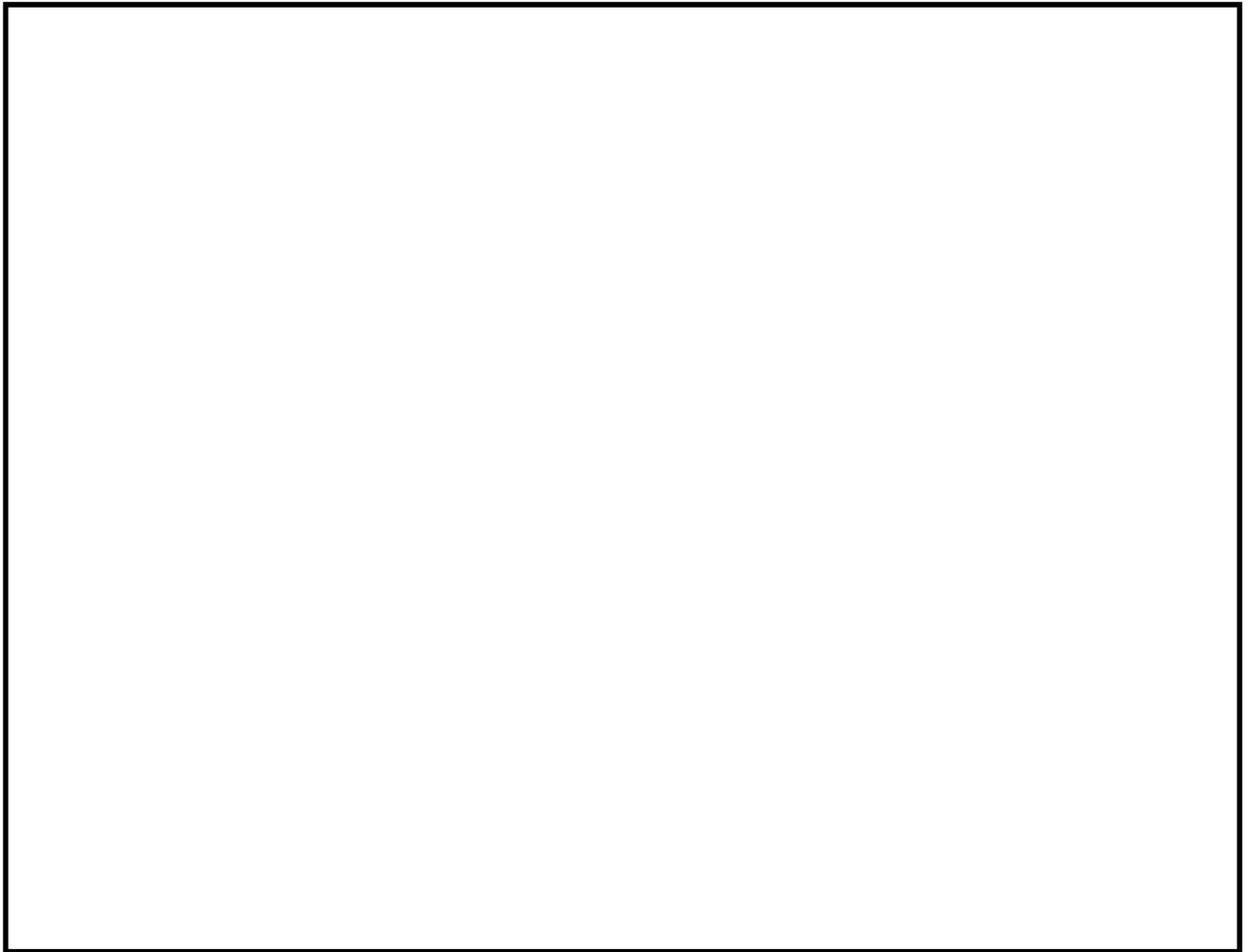
図一別紙 4－2 非破壊試験実施箇所（中性化深さ）
（原子炉建屋 EL+2.0m）

凡例 ▼：非破壊試験実施箇所
(▽：壁面)



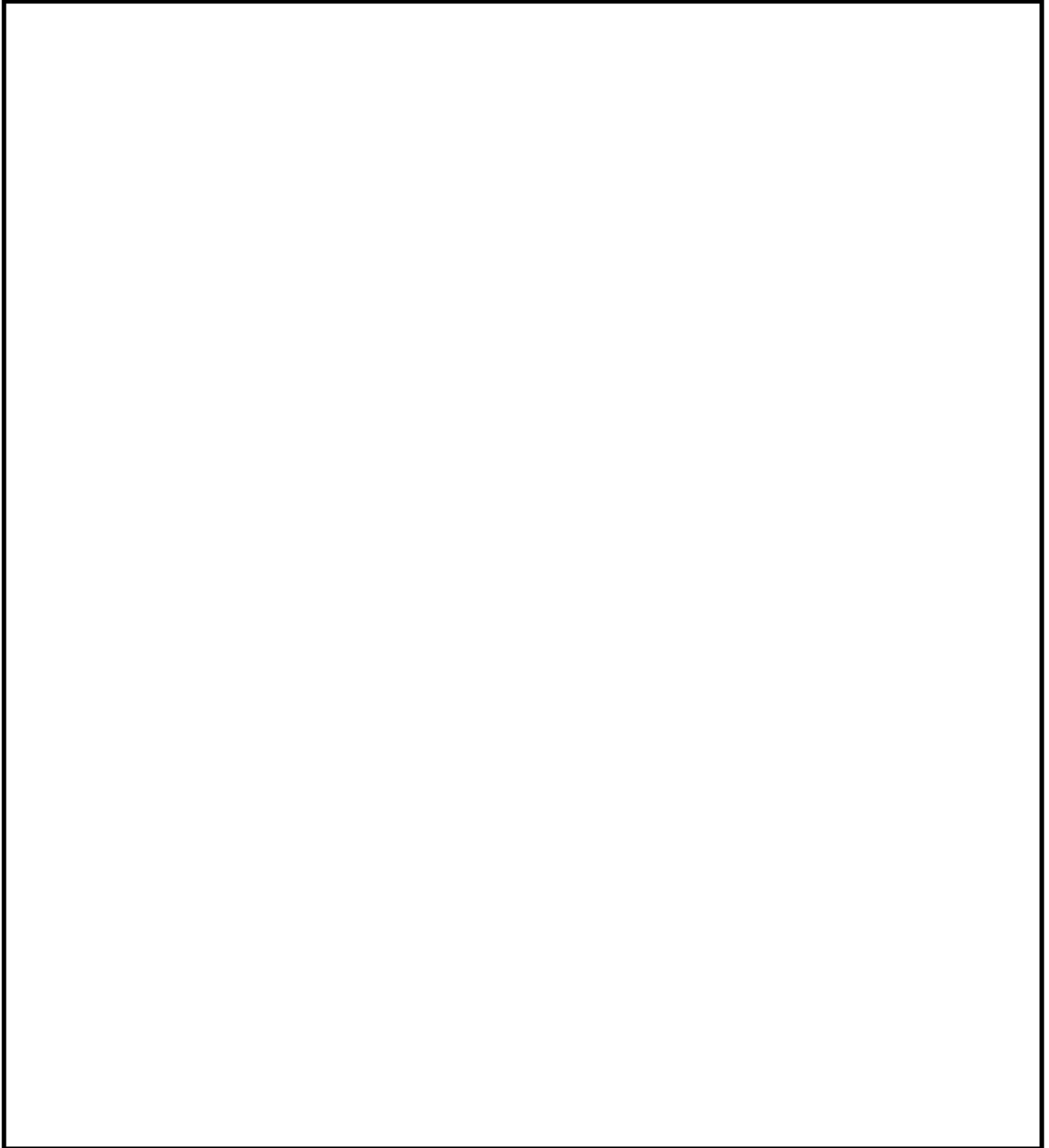
図一別紙 4－3 非破壊試験実施箇所（中性化深さ）
（取水槽）

凡例 ▼：非破壊試験実施箇所
(▽：壁面)



図一別紙 4-4 非破壊試験実施箇所（中性化深さ）
（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

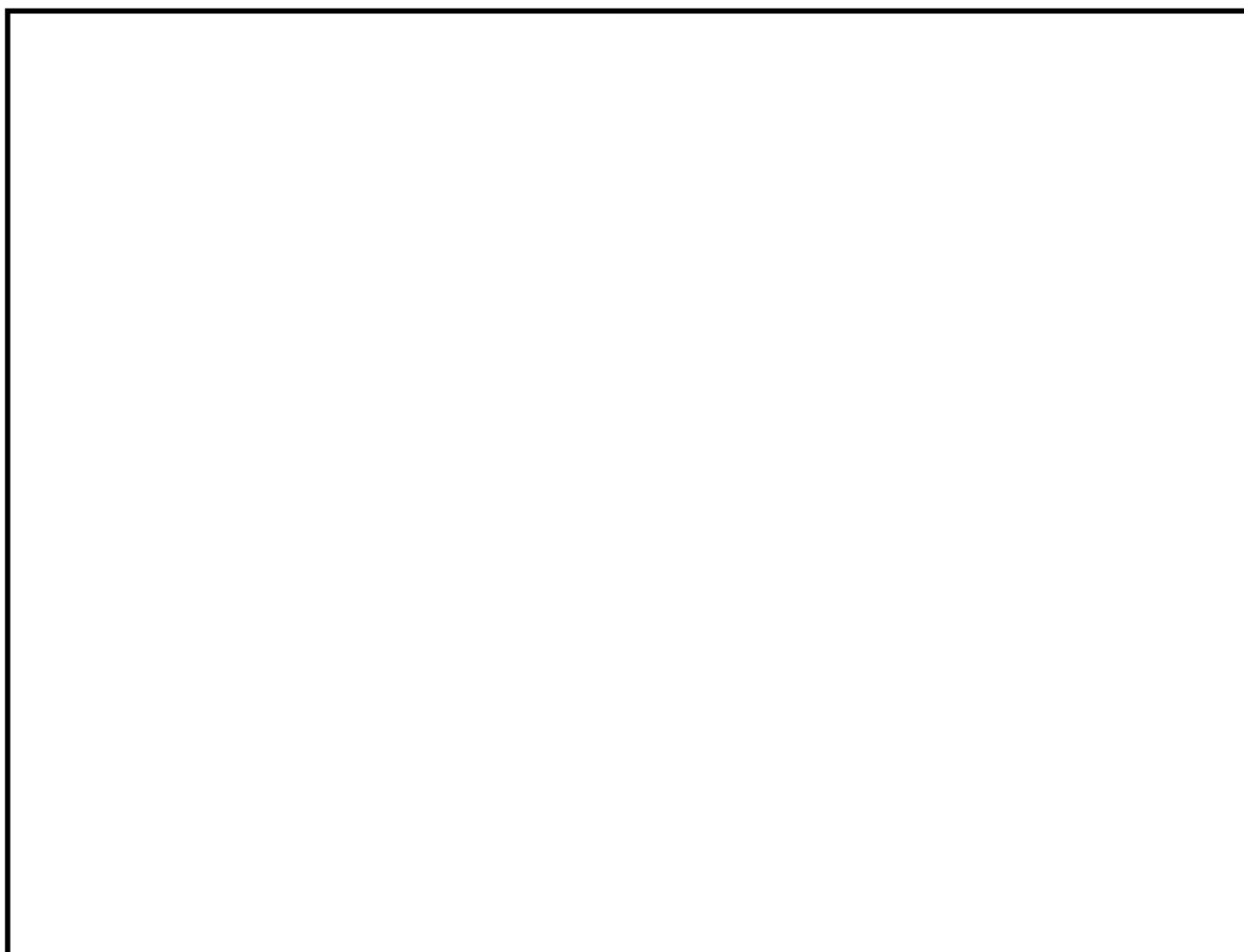
凡例 ▼：非破壊試験実施箇所
(▽：壁面)



図一別紙 4－5 非破壊試験実施箇所（中性化深さ）
（排気筒基礎）

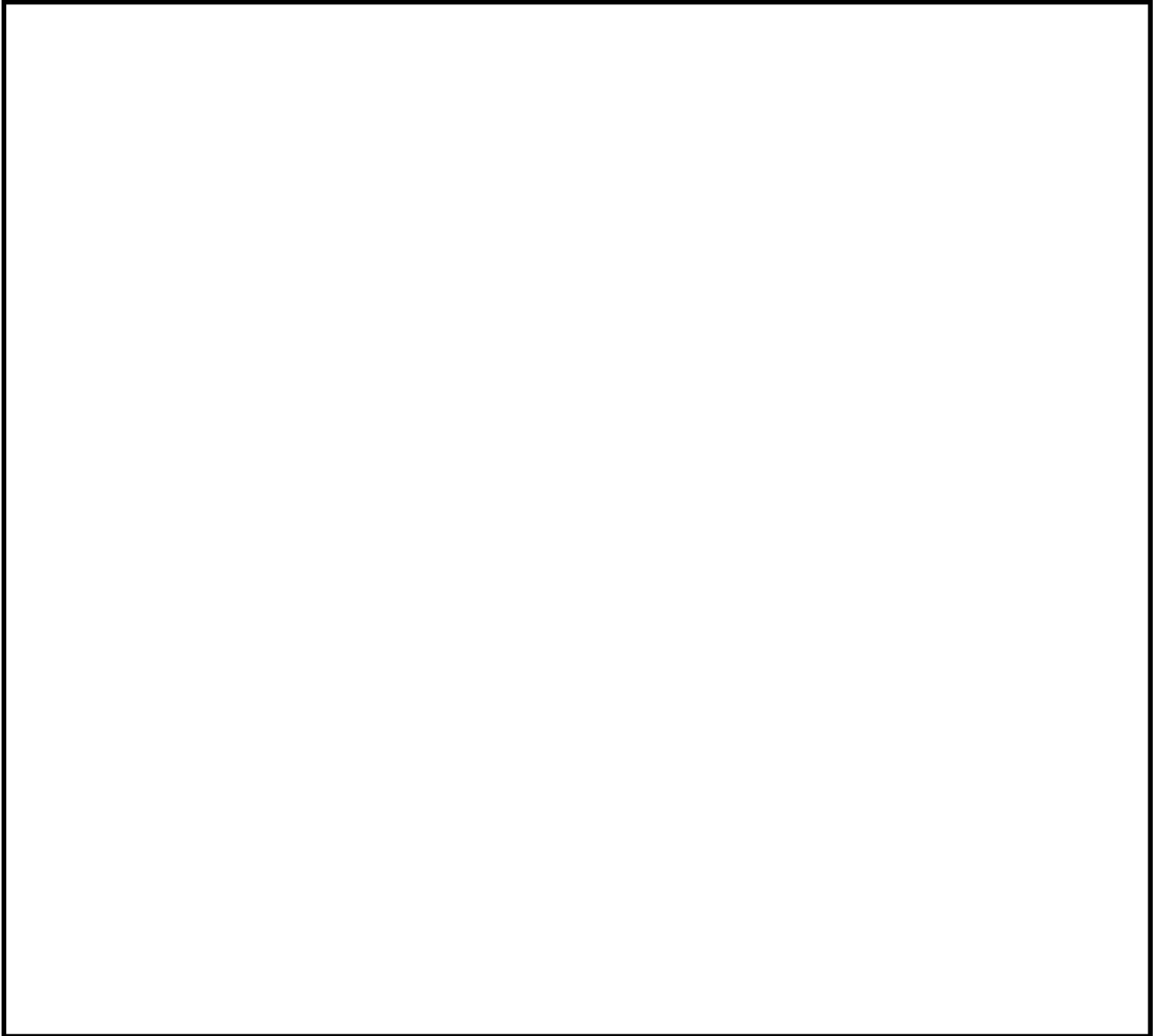
別紙 5. 塩分量測定箇所

凡例 ▼：飛来塩分捕集器
(▽：壁面)



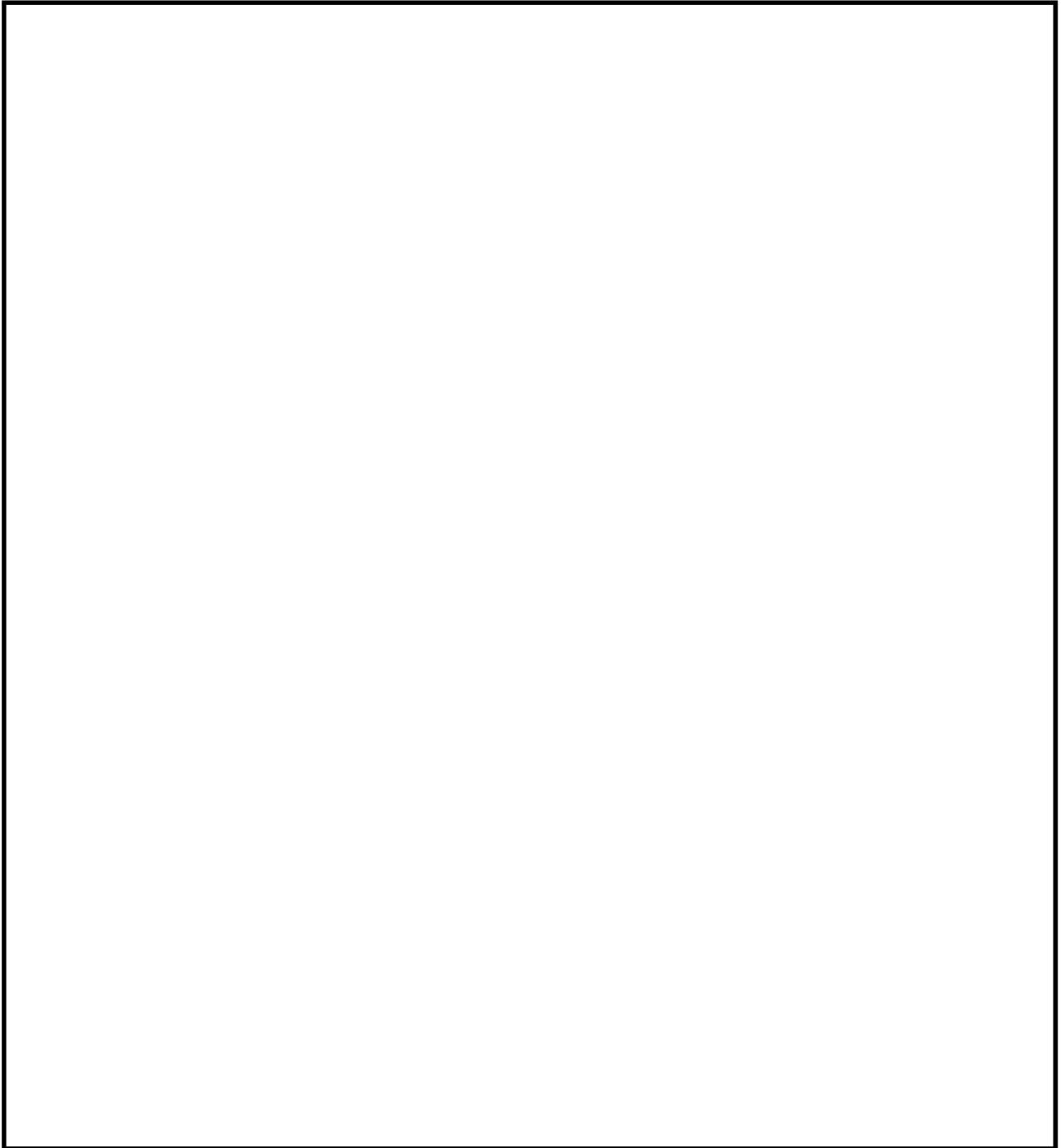
図－別紙 5－1 塩分量測定箇所
(原子炉建屋，タービン建屋 東側立面図)

凡例 ▼：ポータブル表面塩分計
(▽：壁面)



図－別紙 5－2 塩分量測定箇所
(取水槽)

凡例 ▼：ポータブル表面塩分計
(▽：壁面)



図一別紙 5－3 塩分量測定箇所
(排気筒基礎)

別紙 6. コンクリート密度計算結果

生体遮蔽装置 名 称 種 類	打設日			材料密度 [g/cm ³]			コンクリー ト密度 [kg/m ³]
	年	月	日	細骨材	粗骨材	セメント	
中央制御室遮蔽	S49	10	13	2.61	2.61	3.16	
	S49	10	13	2.61	2.61	2.95	
	S49	10	19	2.61	2.61	3.16	
	S49	10	19	2.61	2.61	2.95	
	S49	10	22	2.61	2.61	3.16	
	S49	11	2	2.61	2.60	2.95	
	S49	10	24	2.61	2.61	2.95	
	S49	11	19	2.61	2.61	3.16	
	S49	11	24	2.61	2.61	3.16	
	S49	12	23	2.61	2.60	3.16	
	S49	12	23	2.61	2.60	2.95	
	S49	12	26	2.61	2.60	3.16	
	S49	12	26	2.61	2.60	2.95	
	S49	12	26	2.61	2.60	3.16	
	S49	12	26	2.61	2.60	2.95	
二次遮蔽（屋上階）※	S51	8	9	2.60	2.60	3.16	

※二次遮蔽の屋上スラブは部材厚さが であり、規格サイズのコアサンプル採取が不可能

工事計画認可申請の一部補正（平成 30 年 2 月 13 日）によって、追加された生体遮蔽範囲を含めたとしても、コアサンプル採取箇所の代表性は妥当であると判断した。