

# 1号機燃料取り出し用カバーのうち 大型カバーの設置について

2022年2月17日（第10回）

---

**TEPCO**

東京電力ホールディングス株式会社

# はじめに

---

- 1号機大型カバーの設置に伴い、実施計画の下記の範囲について変更を申請する。

- 実施計画の申請範囲

## <変更箇所>

### Ⅱ 特定原子力施設の設計，設備

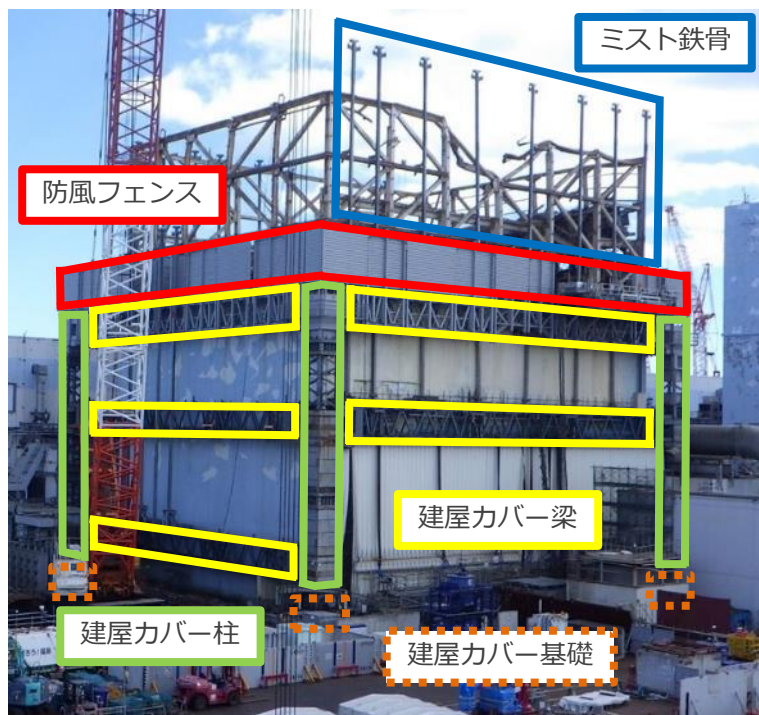
#### 2 特定原子力施設の構造及び設備，工事の計画

##### 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備

添付資料－4－2 燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書

添付資料－6 福島第一原子力発電所第1号機原子炉建屋カバーに関する説明書

- 1号機の燃料取り出しに当たっては、ダスト飛散対策の信頼性向上等の観点から、「原子炉建屋を覆う大型カバーを設置し、カバー内でガレキ撤去を行う」プランを採用し、2020年2月に第78回監視・評価検討会にて説明した。
- その後、大型カバーの設計を進めると共に、大型カバーの設置に向けて支障となる既存の原子炉建屋カバーの残置部について、2020年12月より撤去を実施し、2021年6月に完了した。
- 今回は、大型カバーの設計内容について申請する。なお、大型カバー設置以降については、別途申請予定である。



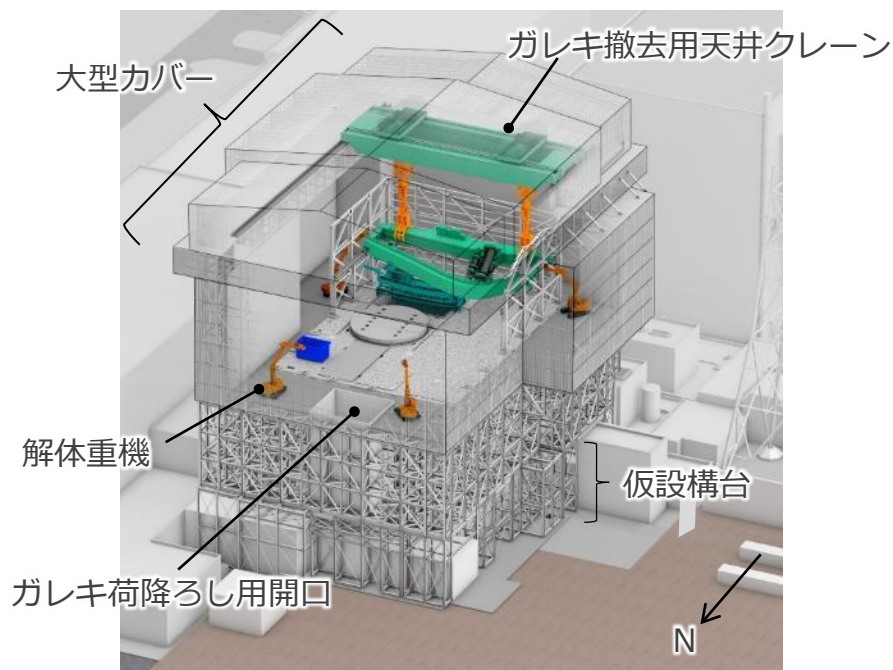
1号機原子炉建屋全景（2020年3月時点）



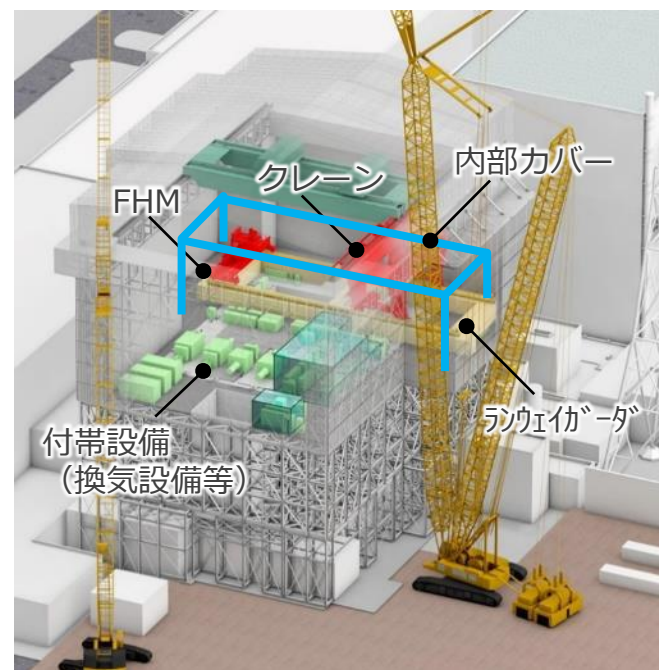
1号機原子炉建屋全景（2021年6月19日時点）

# 燃料取り出し工法の概要

- 原子炉建屋を覆う大型カバーを先行設置し、大型カバー内のガレキ撤去用天井クレーンや解体重機を用いて、ガレキ撤去を実施する。
- その後、オペレーティングフロアの除染・遮蔽を実施し、燃料取扱設備(燃料取扱機、クレーン)を設置した上で、使用済燃料プールから燃料取り出しを実施する。



ガレキ撤去時のイメージ図



燃料取り出し時のイメージ図

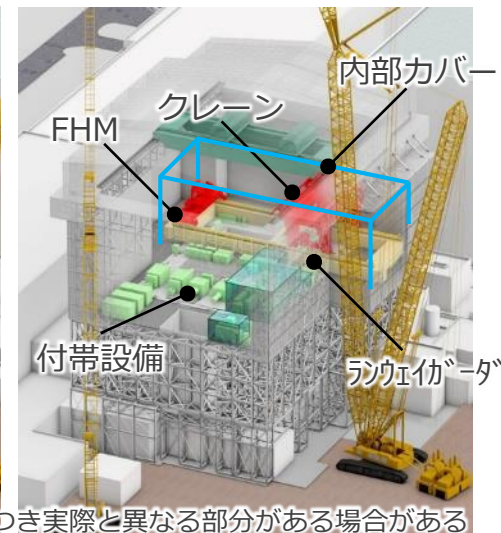
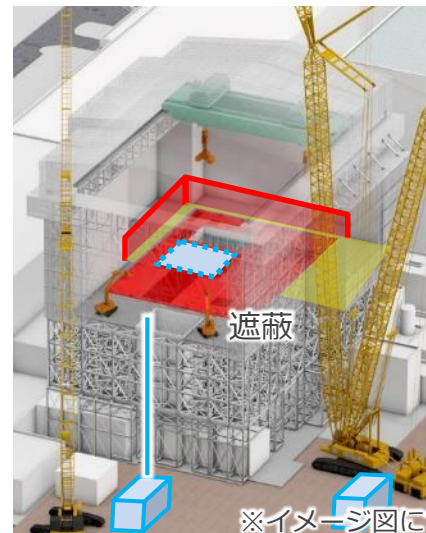
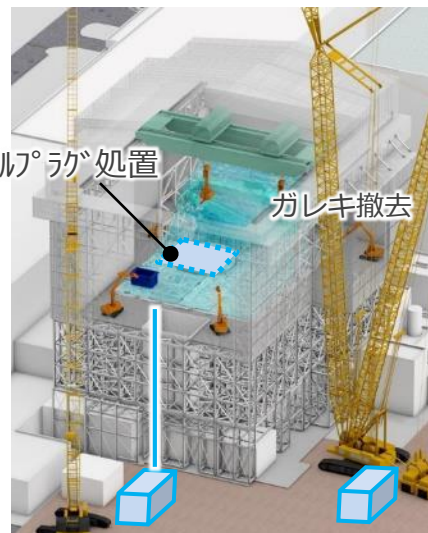
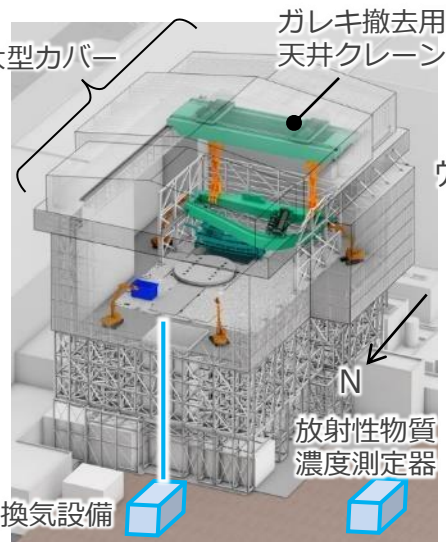
※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

# 燃料取り出しに向けた実施計画の提出方法 (1)

- STEP毎に実施計画を提出する計画である。
- 大型カバーは、設置後ガレキ撤去に使い、その後、燃料取り出し時にも活用する。なお、内部カバーはガレキ撤去後設置するため、別途申請予定である。

大型カバー設置完了  
(2023年度頃)

燃料取り出し開始  
(2027~2028年度)



※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

## STEP1-1

- ・大型カバー
- ・ガレキ撤去用天井クレーン

## STEP1-2

- ・換気設備
- ・放射性物質濃度測定器
- ・非常用注水設備の代替手段

## STEP2

- ・ガレキ撤去
- ・ウェルプラグ処置

## STEP3

- ・遮蔽

## STEP4

- ・FHM, クレーン
- ・換気設備
- ・放射性物質濃度測定器
- ・エリア放射線モニタ
- ・ランウェイガード, 内部カバー

今回申請範囲

対象設備

# 燃料取り出しに向けた実施計画の提出方法 (2)

■ 各STEPの実実施計画変更予定範囲を以下に示す。

項目	STEP 1-1	STEP 1-2	STEP 2	STEP 3	STEP 4	STEP 5
II 2.3 使用済燃料プール設備	-	○	-	-	-	-
添付資料-9 使用済燃料プール冷却系機能喪失評価	-	○	-	-	-	-
II 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備	○	○	○	○	○	○
添付資料-1-1 燃料の落下防止, 臨界防止に関する説明書	-	-	-	-	○	-
添付資料-1-2 放射線モニタリングに関する説明書	-	-	-	-	○	-
添付資料-1-3 燃料の健全性確認及び取り扱いに関する説明書	-	-	-	-	○	○
添付資料-2-1 構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書	-	-	-	-	-	○
添付資料-2-2 破損燃料用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書	-	-	-	-	-	○
添付資料-2-3 構内輸送時の措置に関する説明書	-	-	-	-	-	○
添付資料-3-1 放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能に関する説明書	-	○	-	-	○	-
添付資料-3-3 移送操作中の燃料集合体の落下	-	-	-	-	○	-
添付資料-4-1 燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明書	-	-	-	-	○	-
添付資料-4-2 燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書	○	-	-	○	○	-
添付資料-5 使用済燃料プールからの燃料取り出し工程表	-	-	-	-	○	-
添付資料-6 福島第一原子力発電所第1号機原子炉建屋カバーに関する説明書	○	-	-	-	-	-
添付資料-7 福島第一原子力発電所第1号機原子炉建屋カバー解体について	-	○	-	-	-	-
添付資料-10 福島第一原子力発電所1号機原子炉建屋パレーティングドアのガレ撤去について	-	-	○	-	-	-
II 2.15 放射線管理関係設備等	-	○	-	-	○	-
添付資料-1 ダスト放射線モニタシステム概略図	-	○	-	-	○	-
III 第1編 第34条 新燃料の運搬	-	-	-	-	-	○
III 第1編 第36条 使用済燃料の貯蔵	-	-	-	-	-	○
III 第1編 第37条 使用済燃料の運搬	-	-	-	-	-	○
III 第1編 第42条 気体廃棄物の管理	-	○	-	-	○	-
III 第1編 第60条 外部放射線に係る線量当量率等の測定	-	-	-	-	○	-
III 第1編 第61条 放射線計測器類の管理	-	-	-	-	○	-
III 第3編 2.1.3 放射性気体廃棄物等の管理	-	○	○	-	○	-
III 第3編 3.1.2 放射線管理	-	○	○	-	○	-

# 各申請の関係性の整理 (STEP1-1 大型カバーについて)

- 大型カバーの設計 (STEP1-1) では、表に示すように各STEPにおける条件を反映している。これらについては、STEP1-1で説明する。
- 設備の設計やガレキ撤去の方法などは各STEPで詳細を説明する。
- 各STEPの条件が変更となった場合、STEP1-1に与える影響があるかどうかを確認する。

	STEP1-2	STEP2	STEP3	STEP4
ガレキ撤去時	[換気設備] ・大型カバーの荷重へ反映 [放射性物質濃度測定器] ・大型カバーの荷重へ反映 [非常用注水設備代替手段] ・大型カバーの荷重へ反映	[ガレキ撤去] ・重機を大型カバーの荷重へ反映 ・ガレキをR/Bの荷重へ反映 [ウェルプラグ処置] ・R/Bの荷重として反映	[遮蔽] ・遮蔽体を大型カバーの荷重へ反映	・反映事項なし
燃料取り出し時	[換気設備] ・大型カバーの荷重へ反映 [放射性物質濃度測定器] ・大型カバーの荷重へ反映 [非常用注水設備代替手段] ・大型カバーの荷重へ反映	[ガレキ撤去] ・ガレキの荷重を全て除外 [ウェルプラグ処置] ・R/Bの荷重として反映	[遮蔽] ・大型カバー, R/Bそれぞれの荷重へ反映	[FHM, クレーン] ・R/Bの荷重へ反映 ・大型カバーへ反力を反映 [換気設備] ・R/Bの荷重へ反映 [放射性物質濃度測定器] ・R/Bの荷重へ反映 [エリア放射線モニタ] ・R/Bの荷重へ反映 [ランウェイガード] ・R/Bの荷重へ考慮 ・大型カバーへ反力を反映 [内部カバー] ・R/Bの荷重へ考慮 ・大型カバーへ反力を反映

# 燃料取り出しに向けた実施計画の提出方法 (3)

- 各STEPの申請スケジュールを以下に示す。

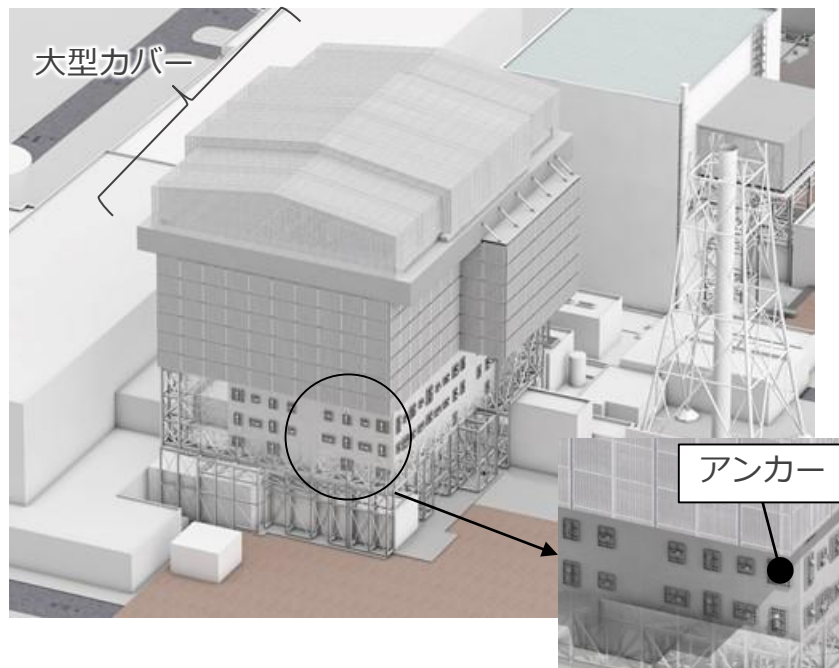
年度	21	22	23	26	32
RMマイルストーン			1号機大型カバーの設置完了 (2023年度頃) ▽		1号機燃料取り出し開始 (2027~2028年度) ↔ 燃料取り出し完了 (2031年内)
廃炉中長期実行プラン 2021					
許認可	▽STEP1-1 (2021年6月~) ▽STEP1-2 (2021年8月~) ▽STEP2 (2023年度) ▽STEP3 (2024年度) ▽STEP4 (2022年度) ▽STEP5 (2024年度)				



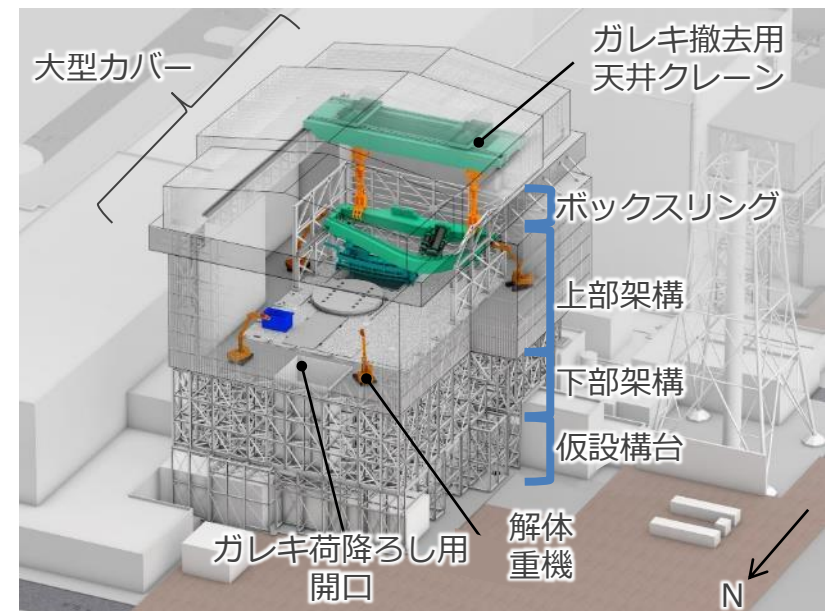
# 大型カバー等の設置について（1）

大型カバーの概要は以下の通り。

- ガレキ撤去環境構築，ダスト飛散の更なる抑制，雨水流入防止のため原子炉建屋オペフロ全体を覆う構造物。
- 原子炉建屋にアンカーで支持されている鉄骨造の構造物。
- 大型カバーは，燃料取扱設備支持部とそれ以外の部分（以下，「一般部」という）から構成される。
- 内部にガレキ撤去を実施するためのガレキ撤去用天井クレーンを有する。



大型カバー全体の概要図

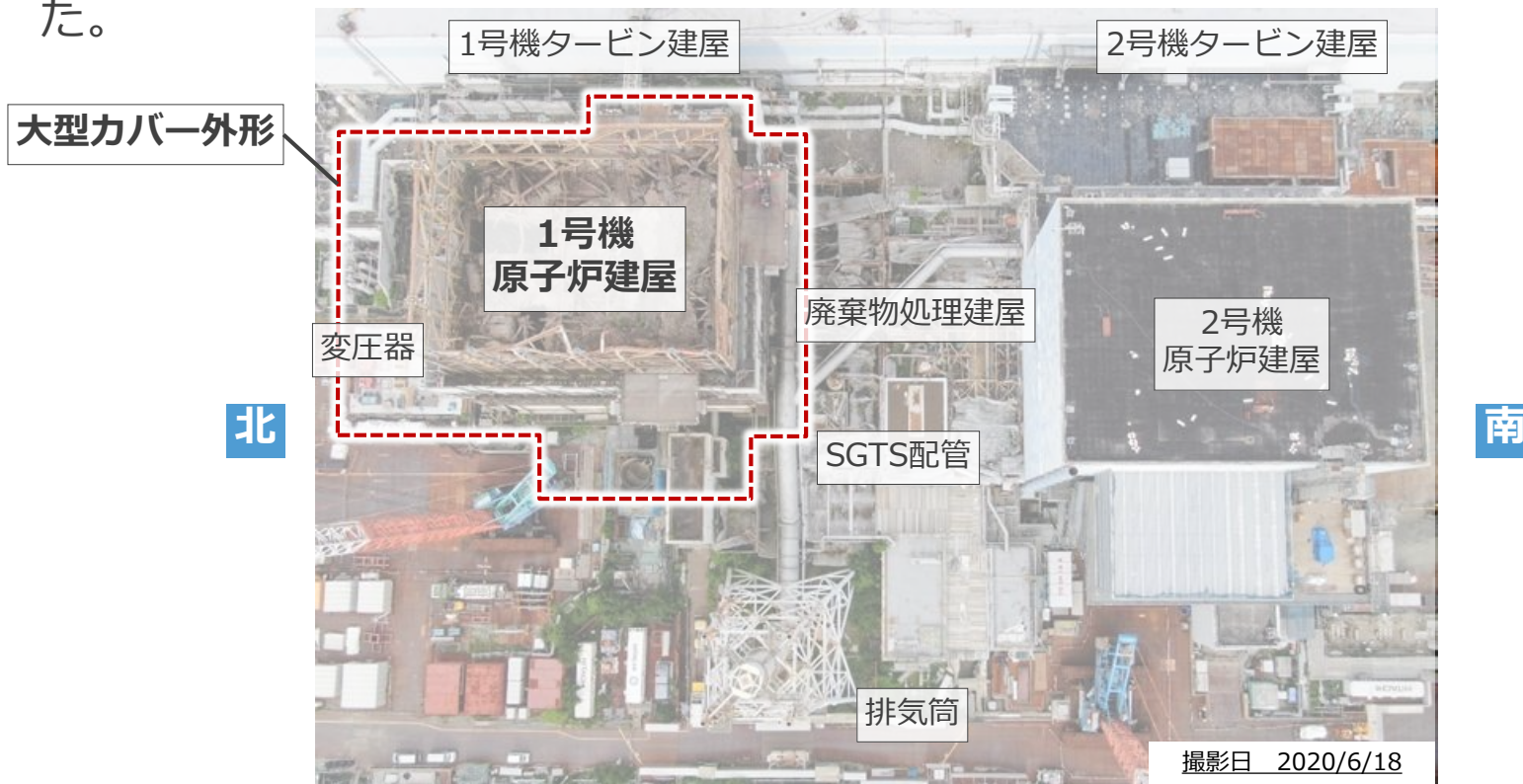


ガレキ撤去時のイメージ図

※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

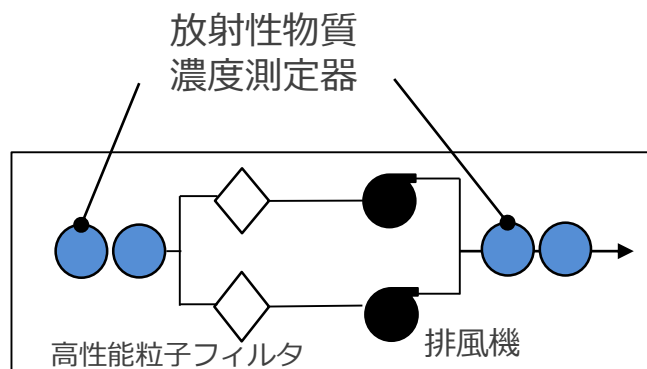
# 大型カバーを外壁支持とした経緯

- 1号機の燃料取り出しに当たっては、ダスト飛散対策の信頼性向上等の観点から、「原子炉建屋を覆う大型カバーを設置し、カバー内でガレキ撤去を行う」プランを採用し、2020年2月に第78回監視・評価検討会にて説明した。
- 大型カバーはガレキ撤去を行うために原子炉建屋全体を覆う必要があり、原子炉建屋より大きな構築物となる。このため、地盤から支持する場合、周辺建屋（タービン建屋、廃棄物処理建屋など）や設備の解体並びに支持力を確保するため地盤改良等が必要となることから、原子炉建屋外壁から支持することとした。

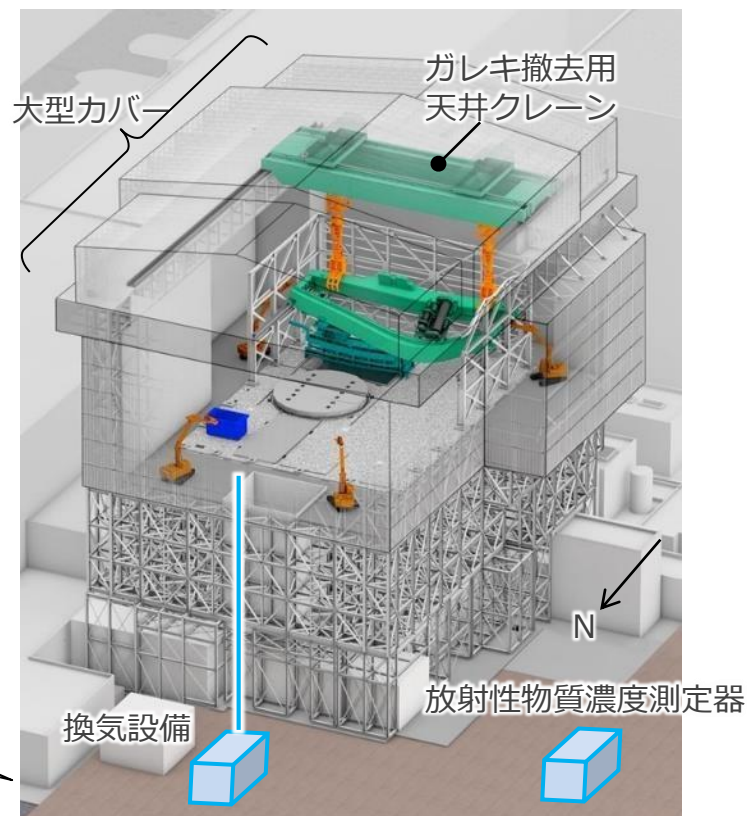


## 大型カバー等の設置について（2）

- 大型カバーの設置とあわせて、換気設備、放射性物質濃度測定器等を設置する。
- 大型カバーは、合理的に可能な限り隙間を低減し、換気設備とあいまって放射性物質の大気への放出を抑制するとともに、放射性物質濃度測定器により連続監視する。



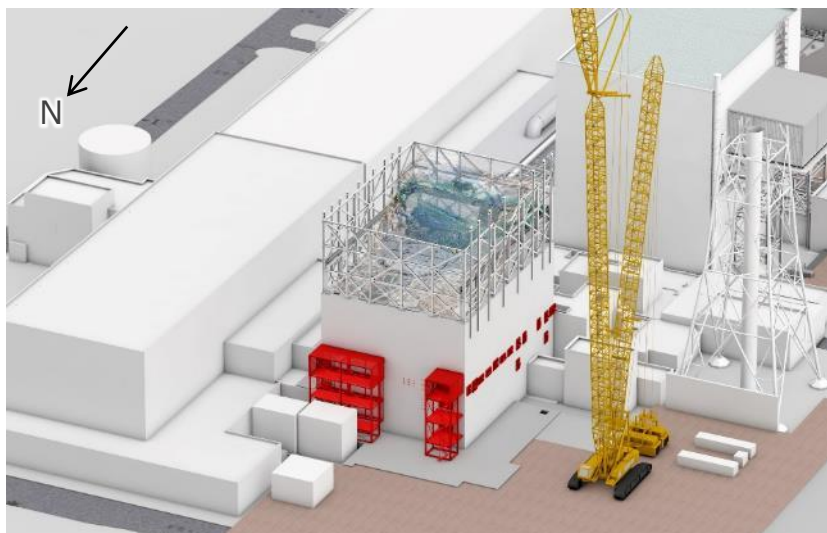
※大型カバー外周部にも自主的に放射性物質濃度測定器を設置



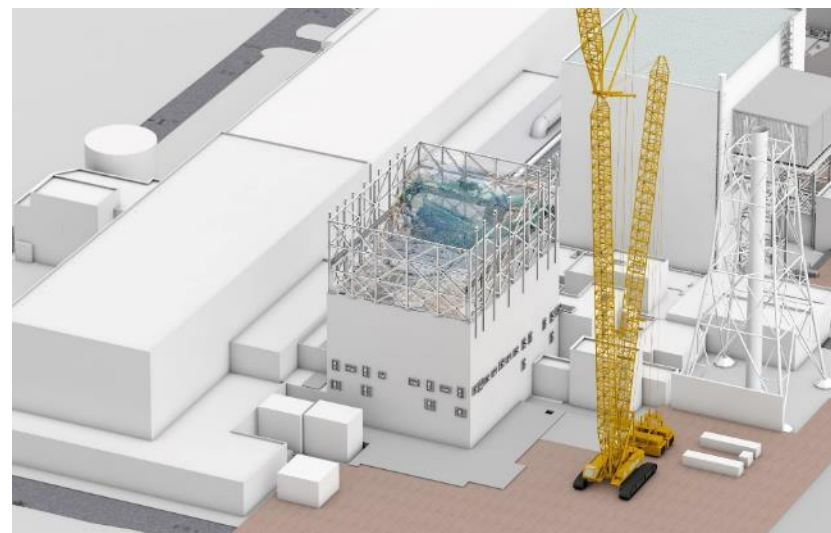
※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

# 大型カバー等の設置について (3)

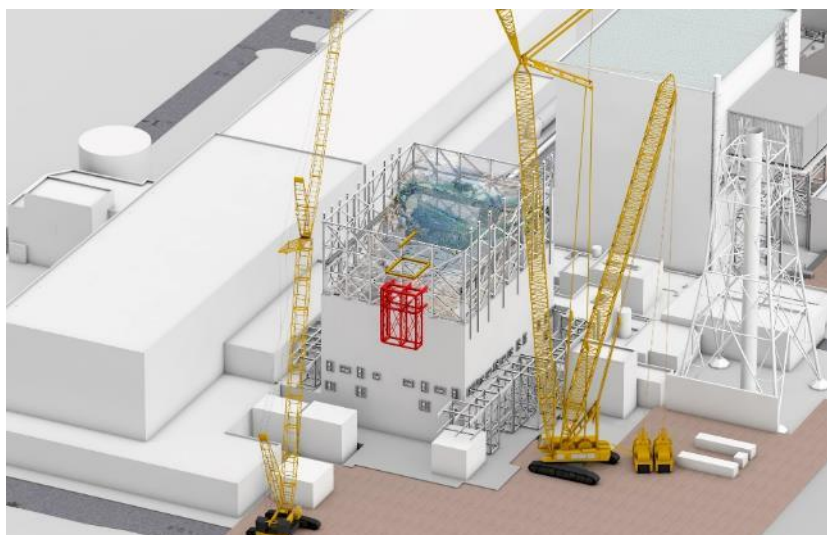
## ■ 大型カバー設置の作業ステップ (1)



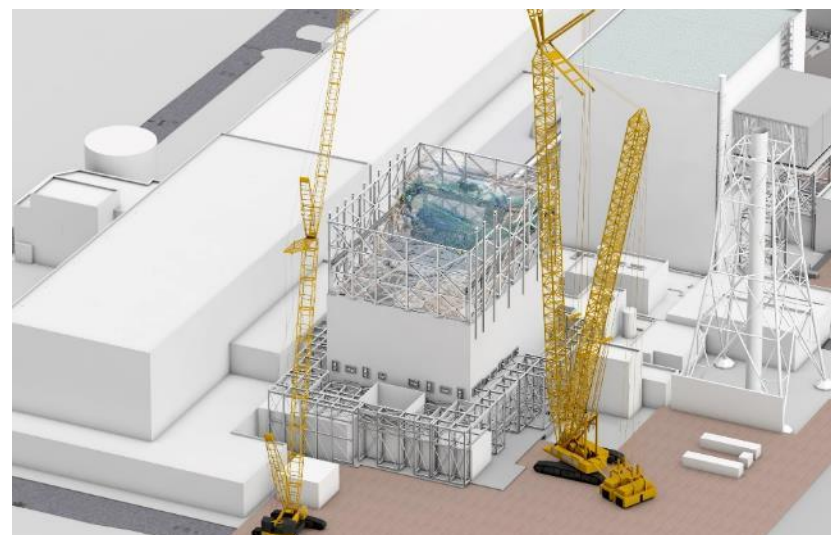
仮設構台部アンカー削孔, ベースプレート設置中



仮設構台部アンカー削孔, ベースプレート設置完了



仮設構台設置中

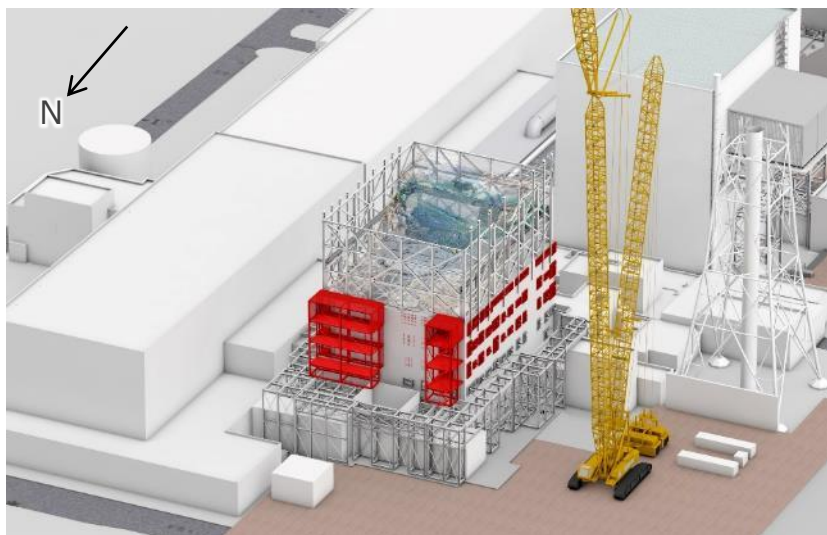


仮設構台設置完了

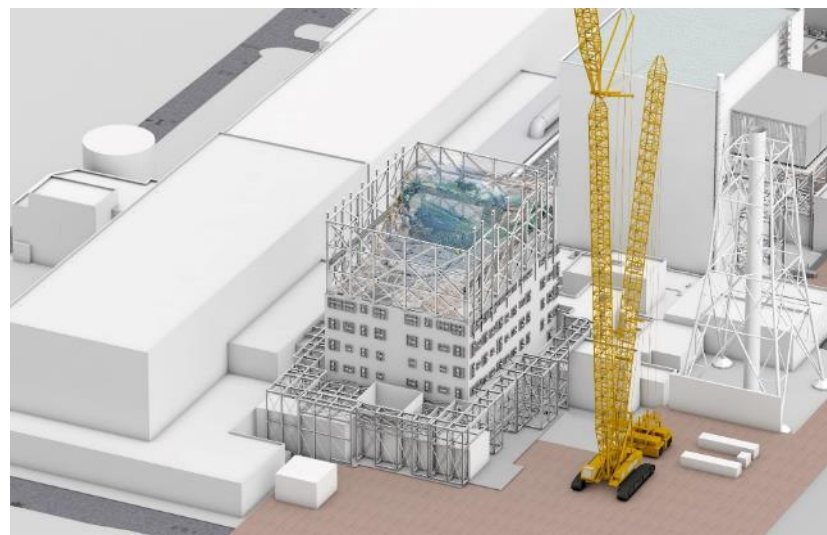
※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

# 大型カバー等の設置について (4)

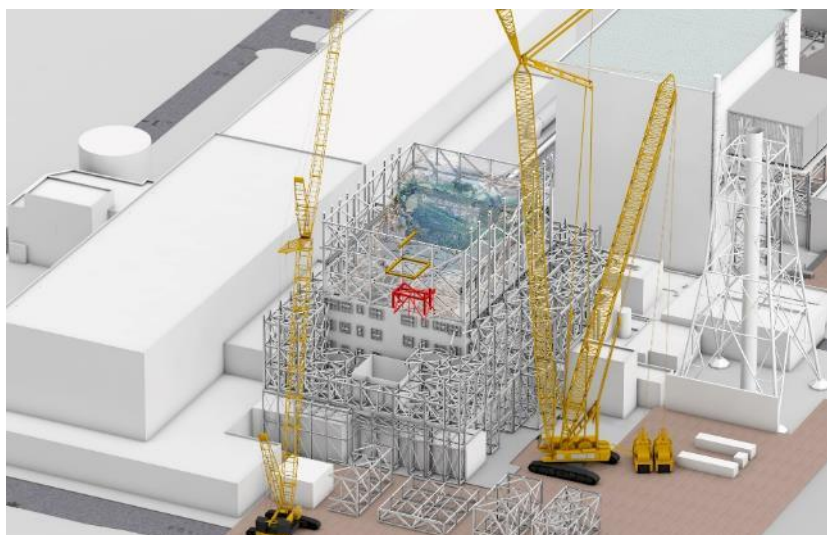
## ■ 大型カバー設置の作業ステップ (2)



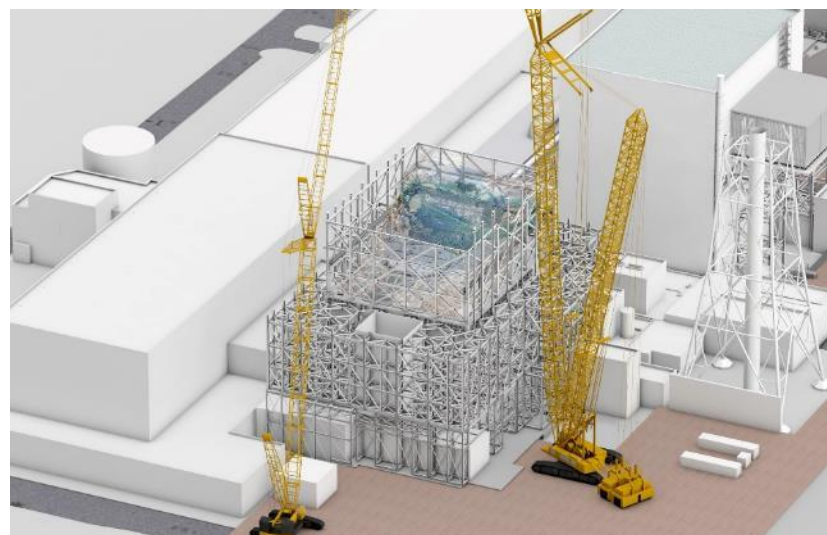
アンカー削孔, ベースプレート設置中



アンカー削孔, ベースプレート設置完了



下部架構設置中

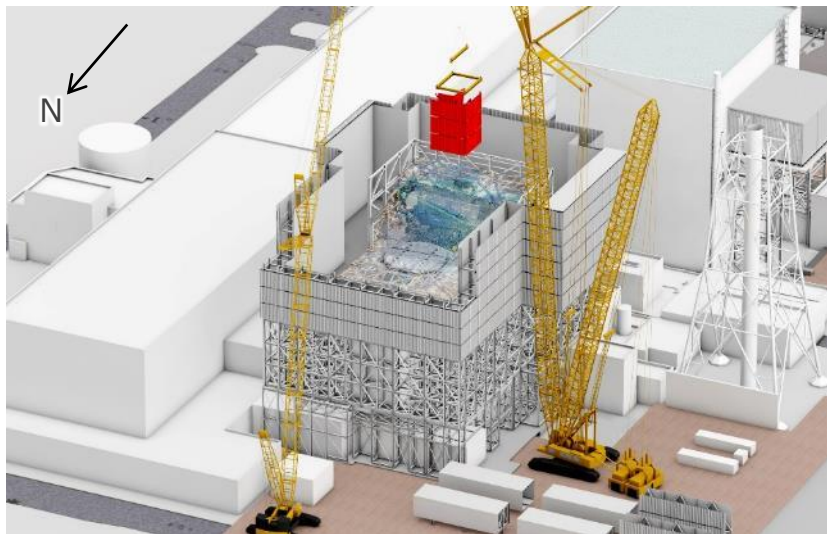


下部架構設置完了

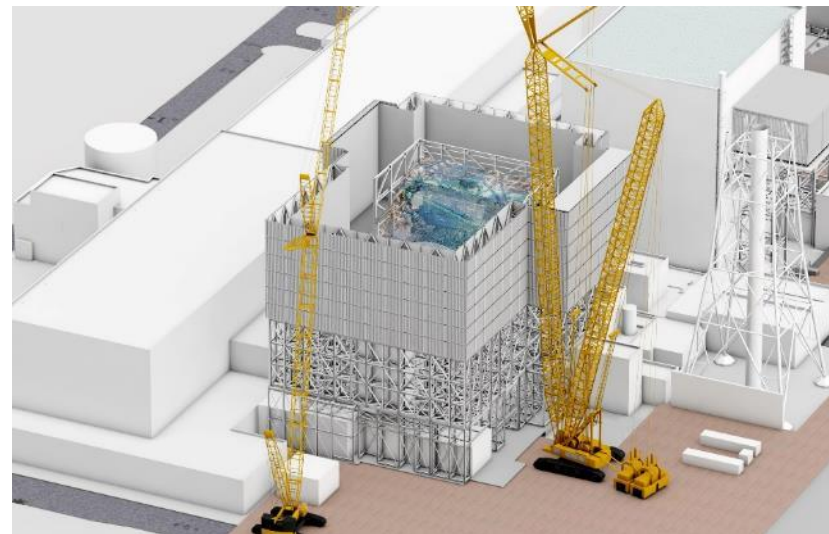
※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

# 大型カバー等の設置について (5)

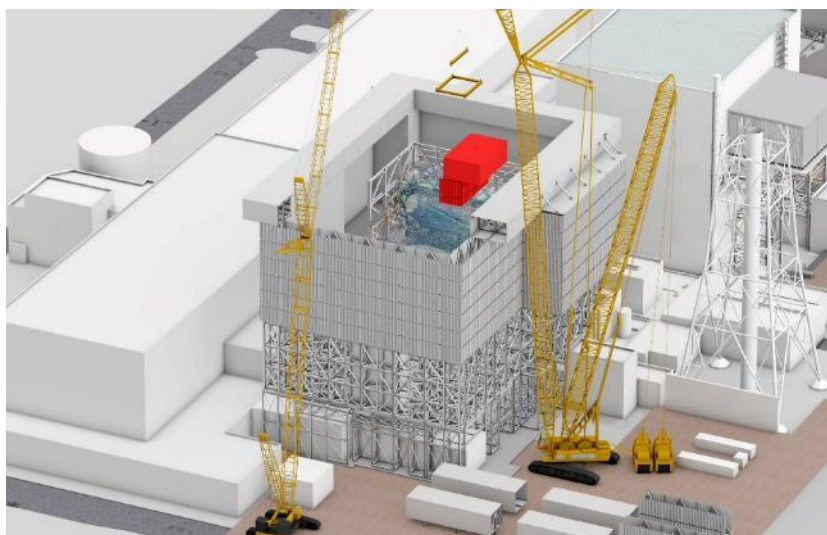
## 大型カバー設置の作業ステップ (3)



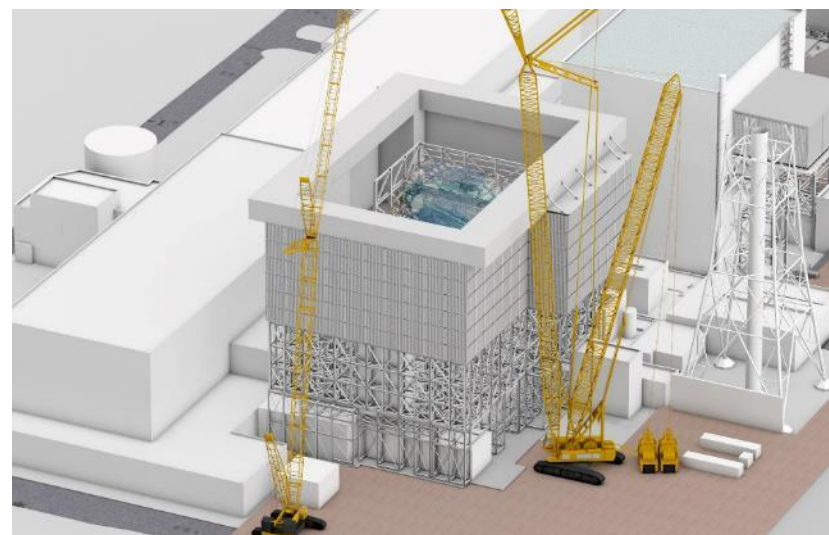
上部架構設置中



上部架構設置完了



ボックスリング設置中

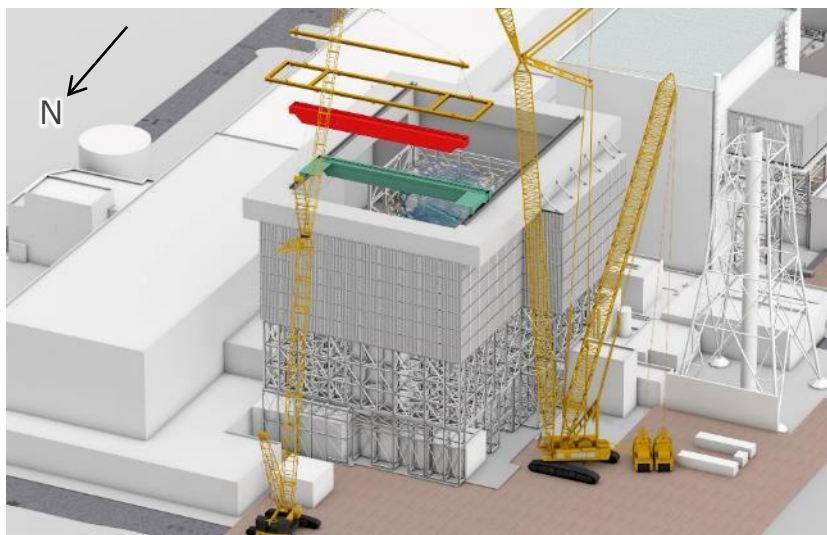


ボックスリング設置完了

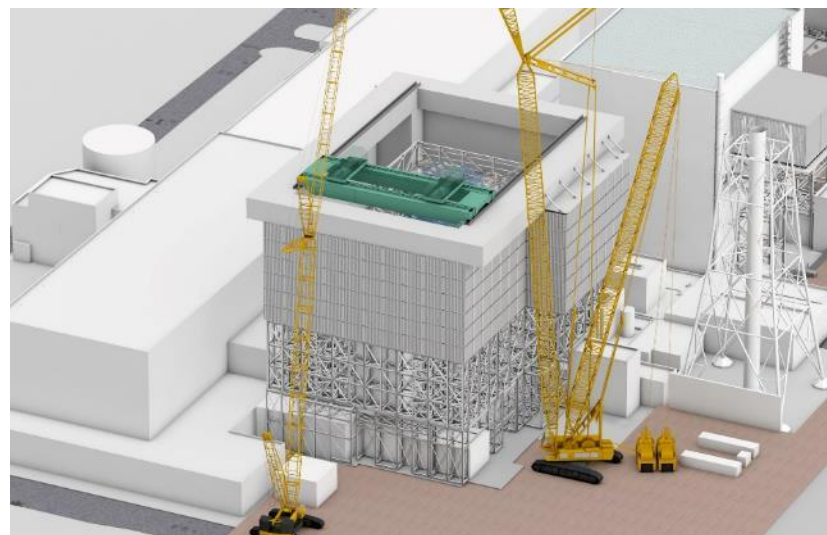
※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

# 大型カバー等の設置について (6)

## 大型カバー設置の作業ステップ (4)



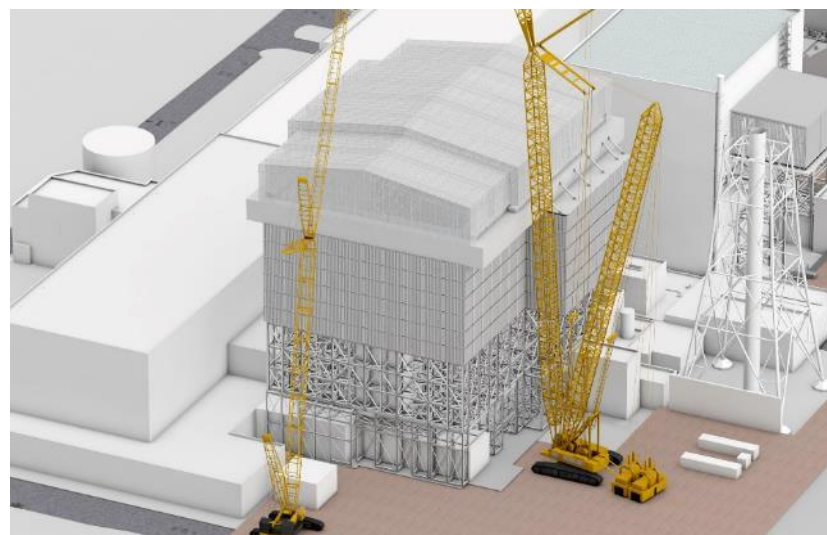
ガレキ撤去用天井クレーン設置中



ガレキ撤去用天井クレーン設置完了



可動屋根設置中

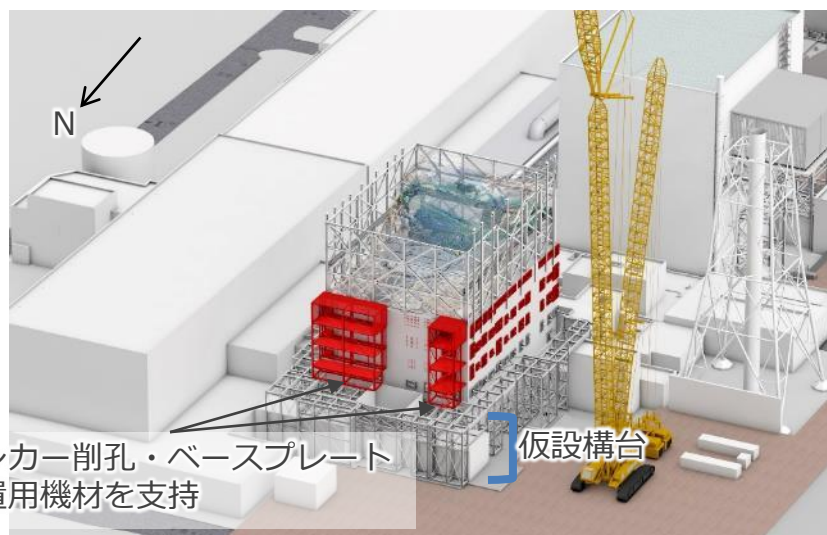


可動屋根設置完了

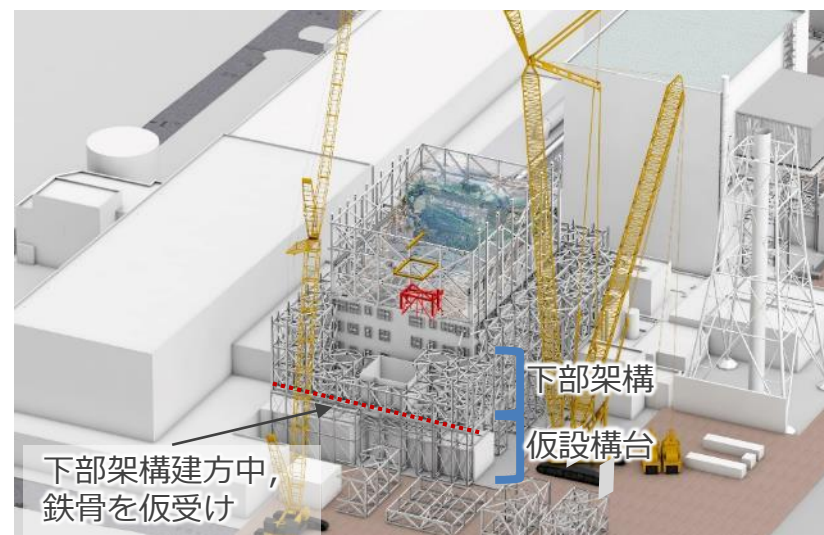
※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

# 大型カバー等の設置について (7)

- 仮設構台は地上から立ち上げ、アンカー削孔やベースプレート設置中の機材の支持や、下部架構建方中の鉄骨を仮受けするために設けるものである。
- 下部架構とは構造的に縁が切れており、大型カバーを構成する構造部材とはならないため、申請対象の構造物とはしていない。



アンカー削孔、ベースプレート設置中

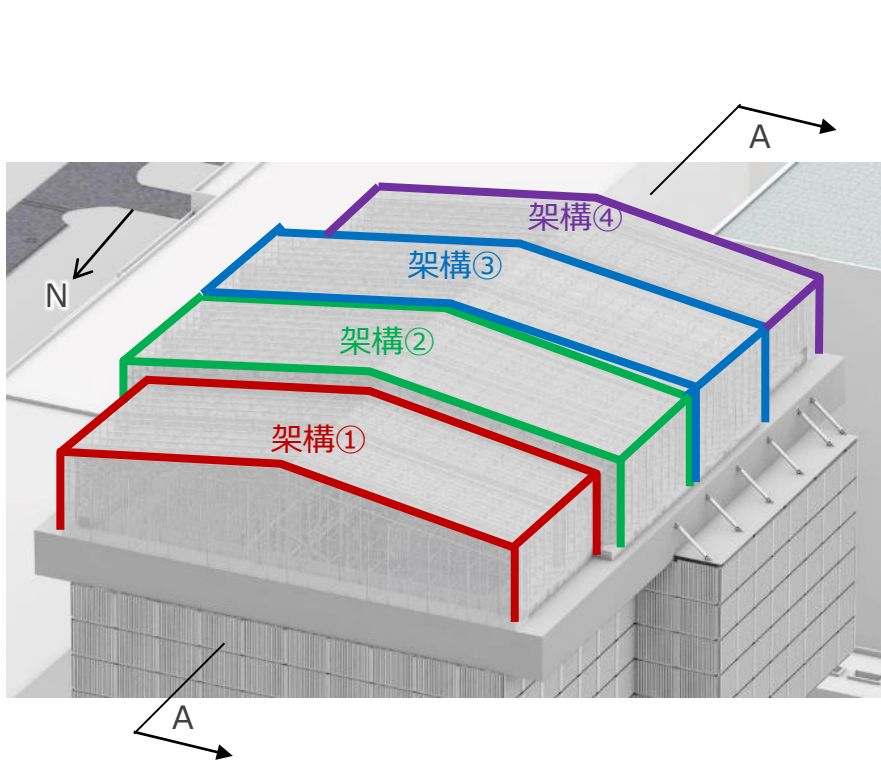


下部架構設置中



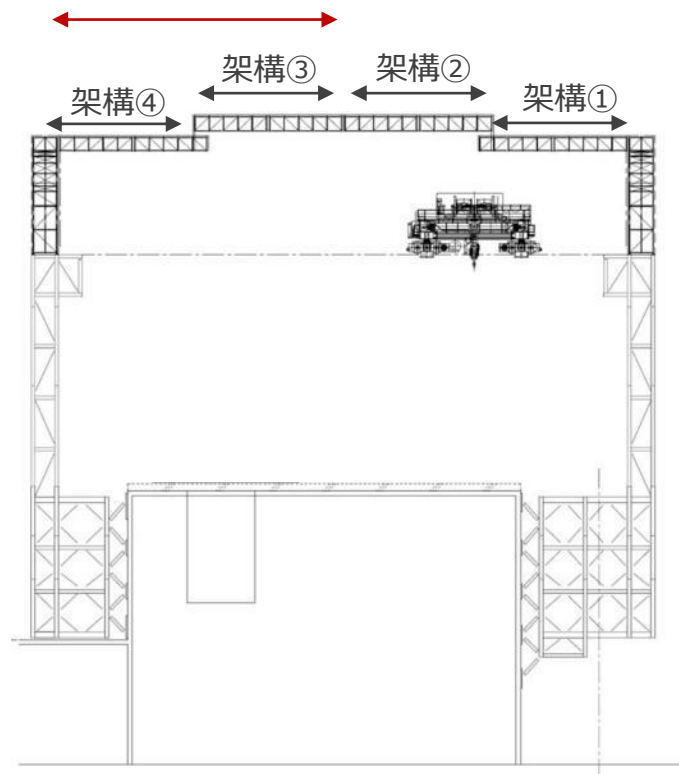
# 大型カバー等の設置について (8)

- 可動屋根は大小4つの架構に分かれており、それぞれの架構が南北にスライドし、任意の位置で屋根面積の約50%を開口できる構造である。これにより、将来計画している燃料取扱機・クレーンの搬入等を可能としている。



可動屋根イメージ図

任意の位置で約50%の開口が可能



A-A断面図

# 大型カバーの施工（被ばく線量の低減）

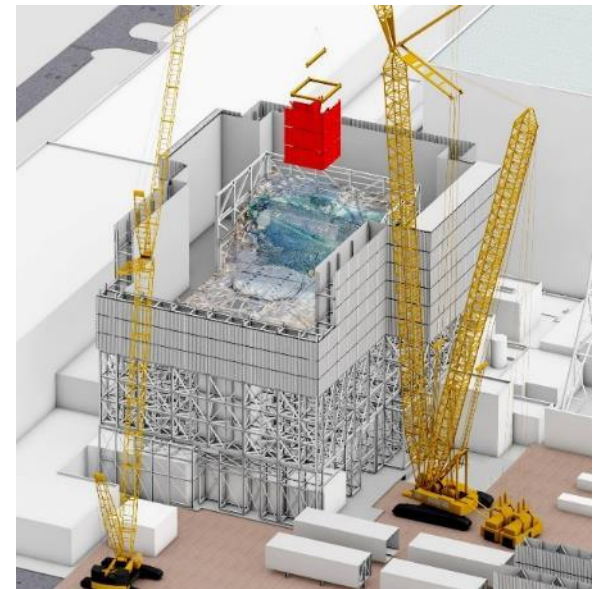
- 1号機原子炉建屋周辺は、線量が高く、有人による作業は作業員の被ばく線量が増加する。
- このため、作業員の被ばく線量を低減する観点から、
  - 低線量となるエリアでの鉄骨のブロック化
  - 高線量エリアではできる限り遠隔操作による施工を実施する。



構外ヤード（低線量エリア）での鉄骨のブロック化



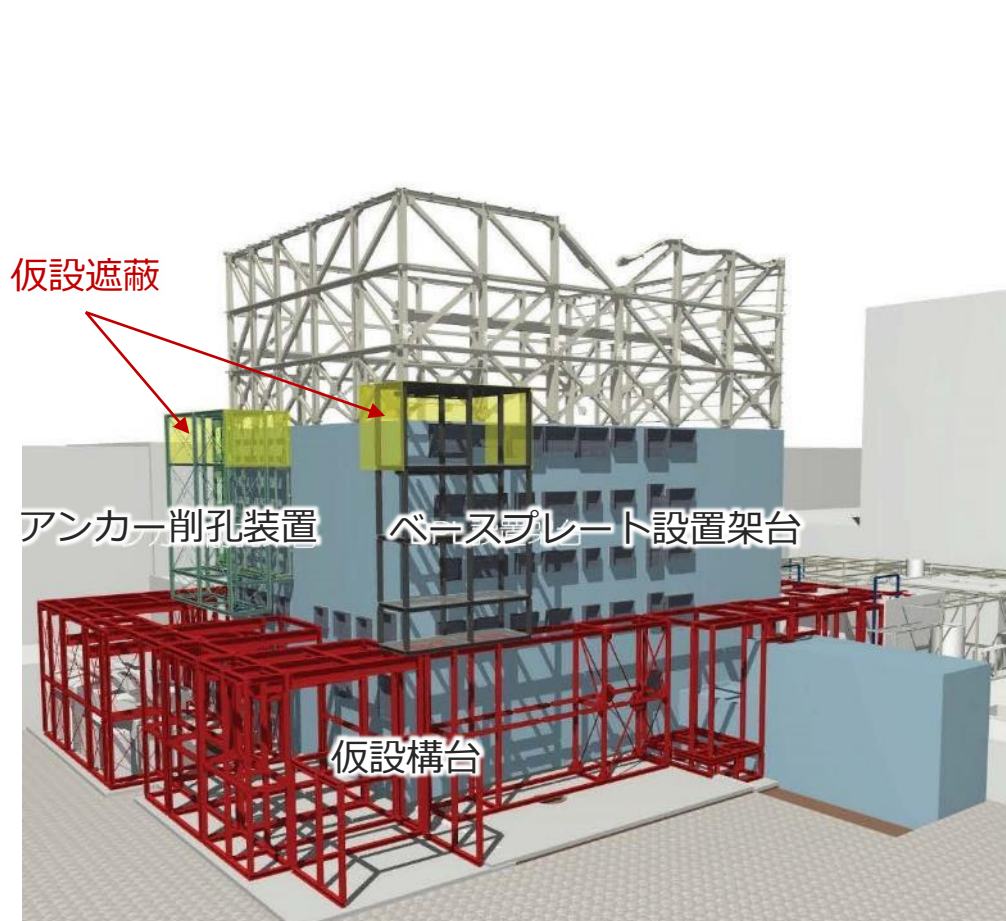
1号機まで鉄骨を搬送



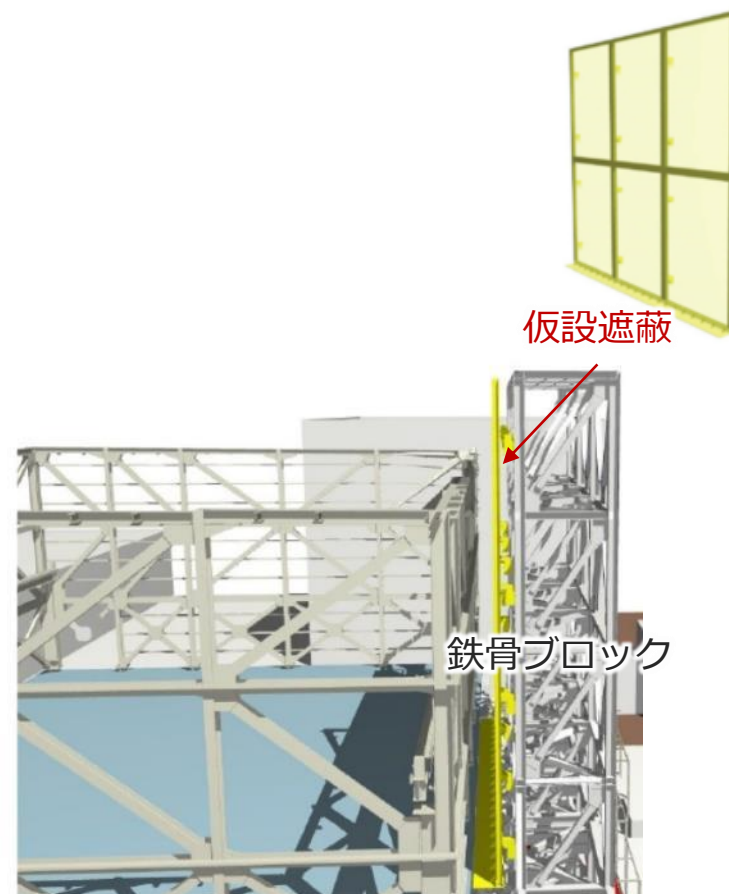
原子炉建屋（高線量エリア）での遠隔操作による鉄骨建方

# 大型カバーの施工（被ばく線量の低減）

- 一部、高線量エリアでの有人作業が発生することから、被ばく線量を低減するため、鉄骨ブロックのオペフロ側等に仮設遮蔽を設ける。



アンカー削孔装置の遮蔽イメージ

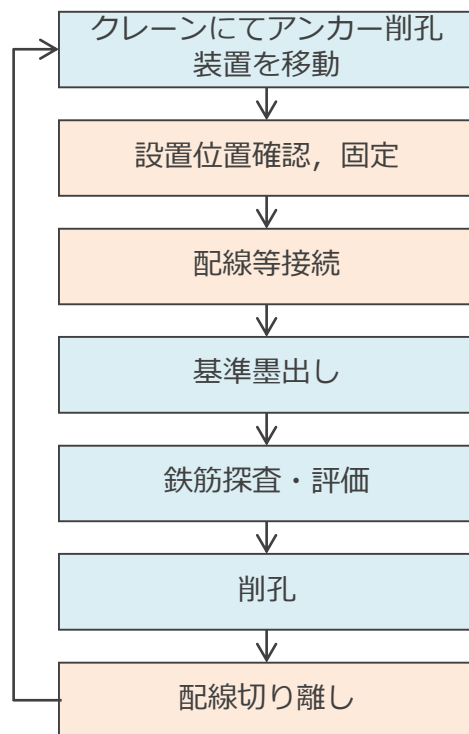


鉄骨建方時の遮蔽イメージ

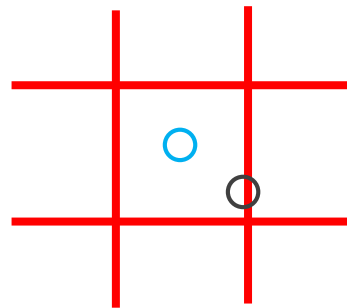
# 大型カバーの施工（アンカーの設置方法）

- 大型カバーを原子炉建屋に固定するアンカーは作業フローに基づき設置する。
- このうち、時間を要する壁の鉄筋探査、壁への削孔作業については、アンカー削孔装置を用いて自動で実施する。なお、配筋が200mm間隔で設置されているのに対し、アンカーは400mm間隔、削孔径40mmで設置することから、探査により鉄筋を確認した上で、できる限りこれらを避けて孔を設ける計画である。
- アンカーの固定材は無機系材料（セメント系）を使用しており、耐久性や対放射性はコンクリート躯体同等である。

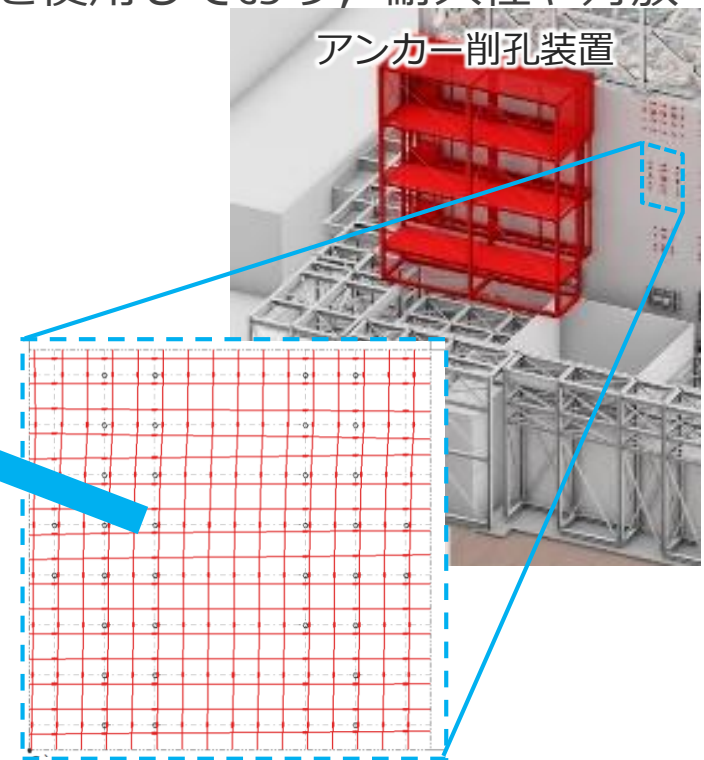
作業フロー



□ : 遠隔作業  
□ : 有人作業

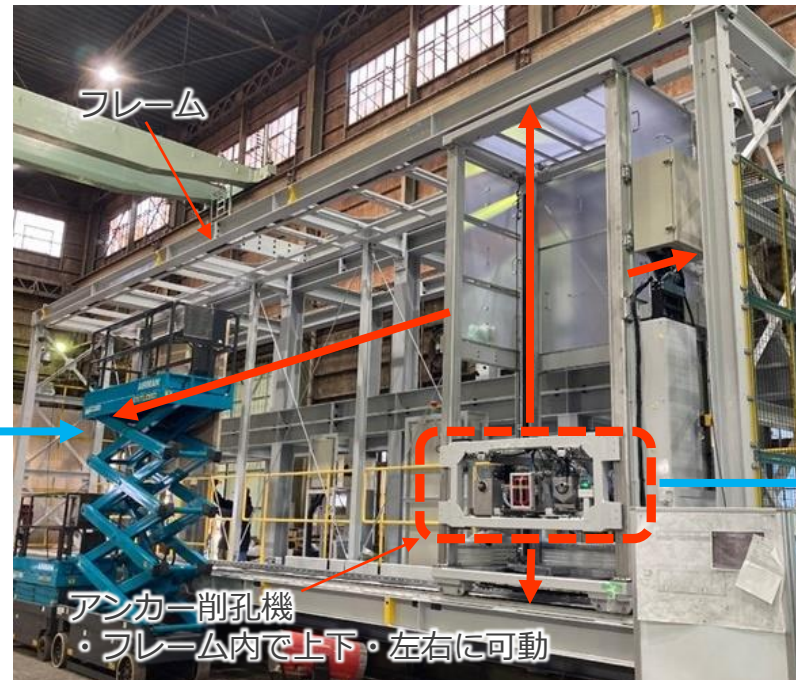
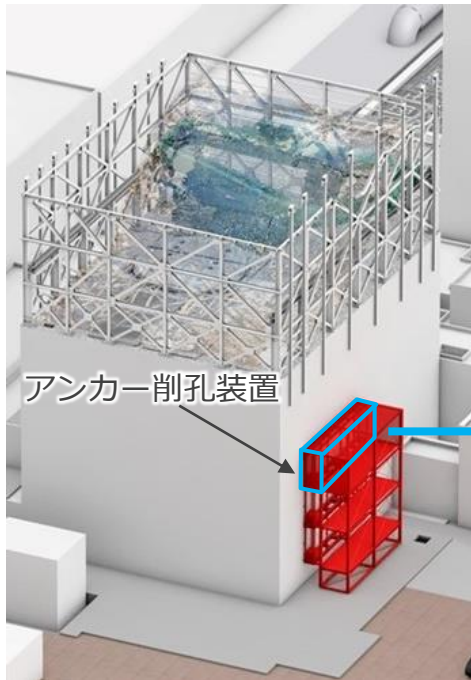


— : 鉄筋位置（実測）  
○ : アンカー計画位置  
○ : アンカー見直し位置



# 大型カバーの施工（アンカーの設置方法）

- アンカー削孔前の鉄筋探査は、アンカー削孔装置に設ける鉄筋探査装置により遠隔で行う。
- アンカー削孔装置は、鉄筋探査や削孔を遠隔で行うために、鉄筋探査装置や削孔用ドリルを有するアンカー削孔機をフレームに組み込み、このフレーム内を上下左右に可動することで範囲内の鉄筋探査、削孔を可能としている。



アンカー設置作業イメージ

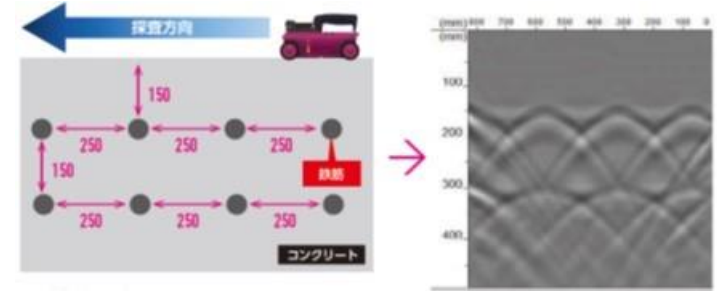
アンカー削孔装置

# 大型カバーの施工（アンカーの設置方法）

- 鉄筋探査装置は、一般現場でも使用実績のあるレーダー方式の装置を用いる。



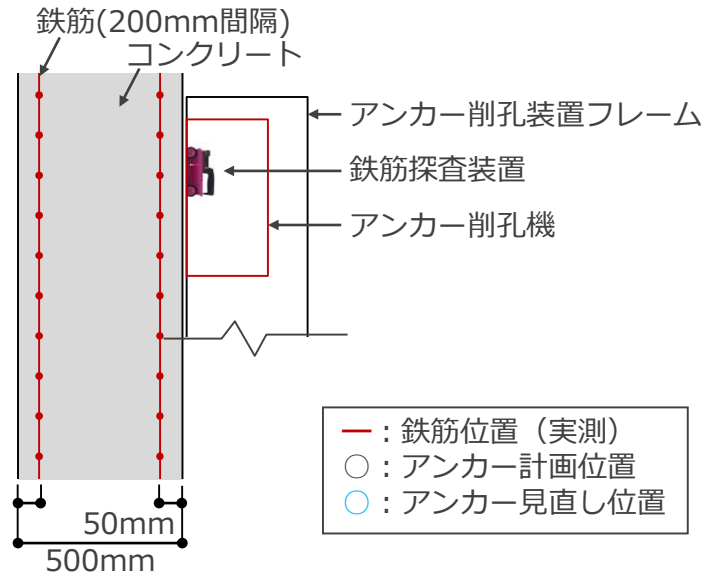
主な性能	
項目	性能
方式	電磁波レーダ方式
探査対象物	鉄筋・埋設管(鉄管, 塩ビ管, CD管 等)・空洞・ジャンカ等
測定深度	5~450mm



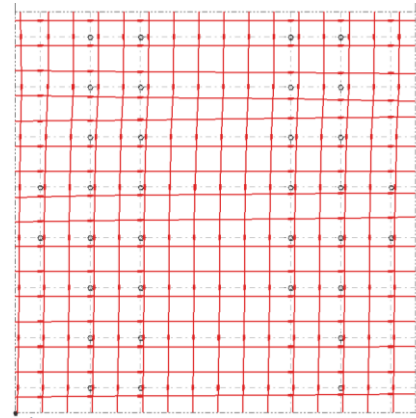
測定画像例

鉄筋探査装置：NJJ-200K

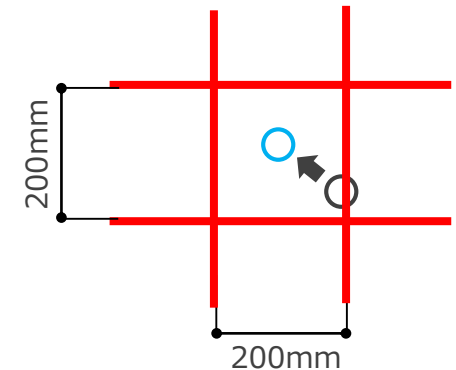
- アンカー削孔装置に設置した鉄筋探査装置により測定した探査結果を図面にプロットし鉄筋と干渉するアンカー位置を見直す。



- : 鉄筋位置 (実測)
- : アンカー計画位置
- (blue) : アンカー見直し位置



鉄筋探査結果をアンカー配置計画位置に対してプロット



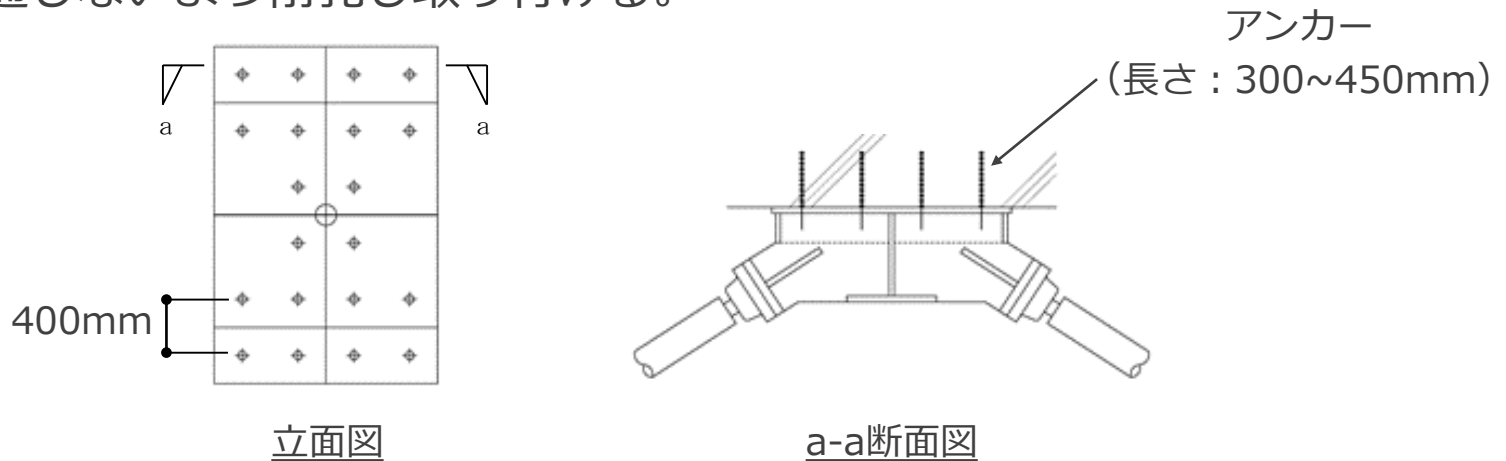
鉄筋に干渉するアンカー位置を見直し

R/B外壁のイメージ(代表部)

# 大型カバーの施工（アンカー削孔に伴うR/Bへの影響）

## ■ アンカー取り付け部の構造

アンカー取り付け部の概要を下図に示す。アンカーはタテヨコ共に400mm間隔を基本とし配置され、アンカー径33mmに対して最大Φ40mmで外壁外面から外壁を貫通しないよう削孔し取り付ける。



## ■ アンカー削孔による欠損影響程度

### ● 外壁部の剛性低下影響

外壁を削孔することによる剛性低下の影響は、外壁見付け面積当たりの削孔面積で換算できる。Φ40mmが仮に400mm×400mm間隔で外壁全面に開けられた場合の欠損率は1%弱であり、影響は極めて小さい。

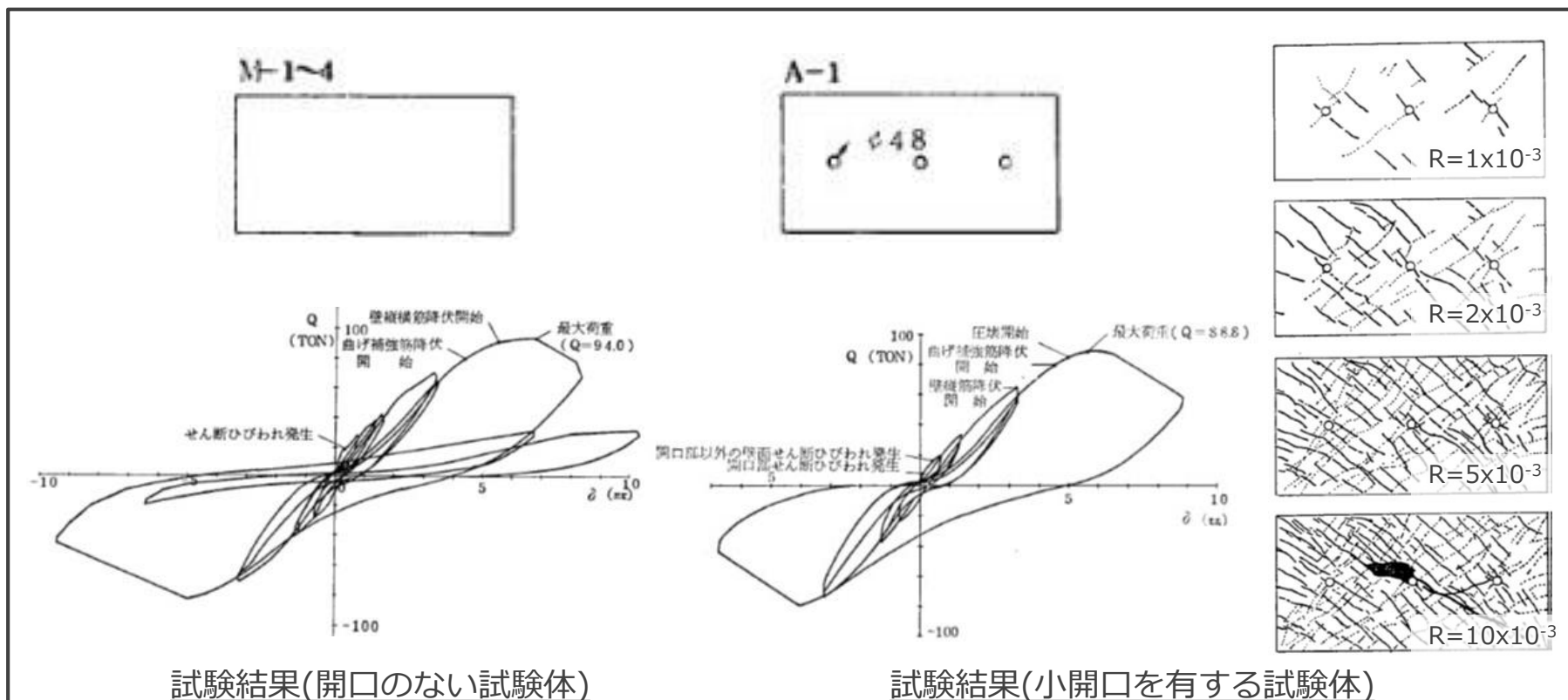
$$20 \times 20 \times \pi \times (1000/400) \times (1000/400) / (1000 \times 1000) = 0.79\%$$

● 削孔後、速やかにアンカー+モルタルで補修するため削孔中の影響は一時的であり耐震性の低下に至ることはない。

# 大型カバーの施工（アンカー削孔に伴うR/Bへの影響）

## 文献調査

- 吉崎ほか「多数の小開口をもつ原子炉建屋耐震壁の終局せん断強度」※1  
開口のない試験体と1号機外壁と類似欠損率となる小開口を有する試験体による水平加力試験結果を以下に示す。  
文献によると、「ひび割れ発達に開口影響は少ないように思われる」と報告されている。また、両試験体の水平荷重-変位関係の比較では、両者の結果に顕著な差は見られない。



出典：※1 吉崎他：多数の小開口をもつ原子炉建屋耐震壁の終局せん断強度 1984JCI論文



# 大型カバーの施工（アンカー削孔に伴うR/Bへの影響）

## ■ 文献の適用性について

開口のない試験体と小開口を有する試験体は荷重変形曲線やせん断強度に顕著な差は見られず、同等の欠損率であれば、耐力低下の影響は無いと言える。また、本文献は原子炉建屋建設時に設ける機器配管の開口を想定しているものの、開口補強筋は考慮していないことから、アンカー設置と同等の条件であると言える。一方、アンカー設置時の開口間隔に対する知見が得られなかったことから、アンカー削孔を考慮したFEM（有限要素法）による解析評価を行う。

	大型カバーに用いるアンカー	吉崎ほか「多数の小開口をもつ原子炉建屋耐震壁の終局せん断強度」※1
開口(削孔)径	Φ40mm	Φ48mm
欠損率	0.66%	0.83%
水平断面の開口数	2~4	3
開口の段数	6	1
開口の間隔	400mm	400mm
削孔深さ	300,375,350mm	貫通
壁厚	400~1100mm	100mm
コンクリート強度	22.1N/mm <sup>2</sup>	335kg/cm <sup>2</sup>
壁鉄有無	有	有
加力方法	面内鉛直・水平力	面内水平加力
図	<p>A diagram showing a rectangular cross-section of a large cover. The height is 2,400mm and the width is 1,600mm. It features a grid of 18 small holes arranged in 3 rows and 6 columns. A central hole is highlighted with a circle.</p>	<p>A diagram showing a rectangular cross-section of a wall. The height is 650mm and the width is 1,300mm. It features three large holes labeled 'A-1' arranged in a horizontal line. One hole is larger than the other two.</p>

出典：※1 吉崎他：多数の小開口をもつ原子炉建屋耐震壁の終局せん断強度 1984JCI論文

# 大型カバーの施工（アンカー削孔に伴うR/Bへの影響）

## ■ アンカー削孔を考慮したFEMによる評価

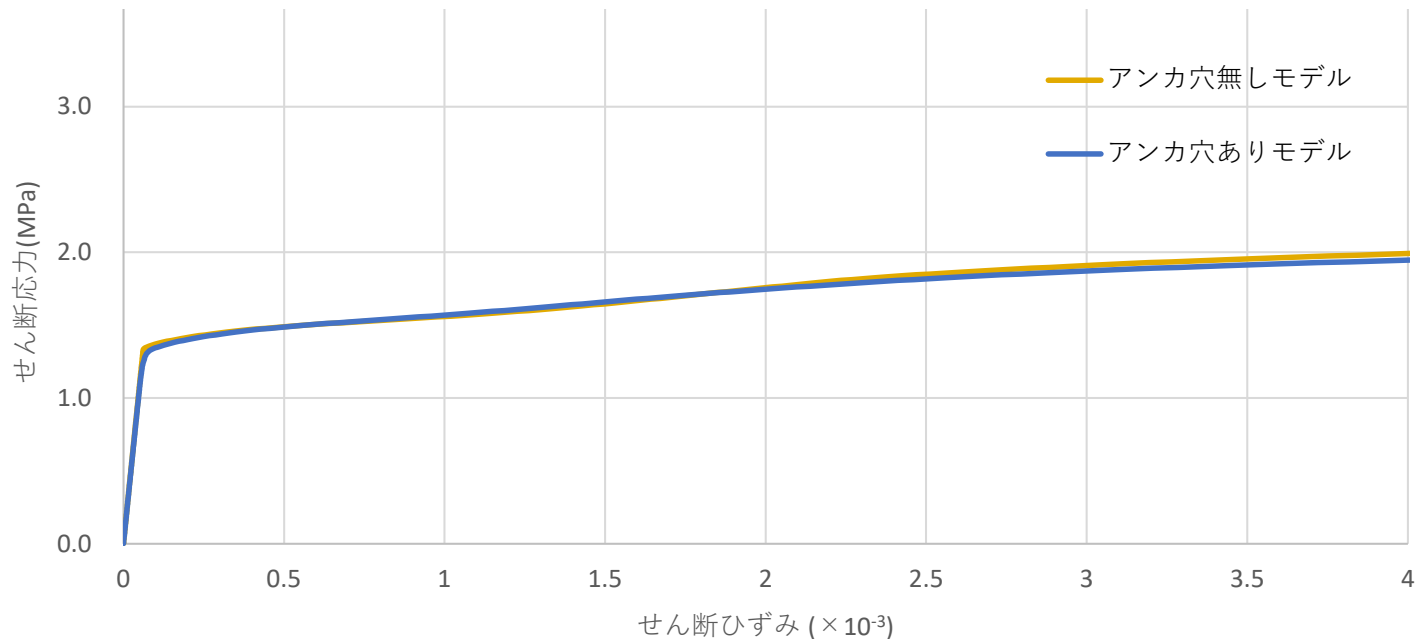
- 文献調査では、アンカーの間隔に対する影響が確認できないため、アンカー削孔がない場合と欠損とみなした場合をFEMにより比較する。

	大型カバーに用いるアンカー	今回モデル
開口(削孔)径	Φ40mm	Φ40mm
欠損率	0.66%	0.79%
水平断面の開口数	2~4	11
開口の段数	6	11
開口の間隔	400mm	400mm
削孔深さ	300,375,350mm	貫通
壁厚	400~1100mm	1,100mm
コンクリート強度	22.1N/mm <sup>2</sup>	22.1N/mm <sup>2</sup>
壁鉄有無	有	有
境界条件	—	正方形の鉄筋コンクリート造平板が純せん断変形をするよう4隅をローラー支持
荷重条件	—	4辺上の接点に集中荷重を与え面内せん断力を入力
図		

# 大型カバーの施工（アンカー削孔に伴うR/Bへの影響）

## ■ アンカー削孔を考慮したFEMによる評価

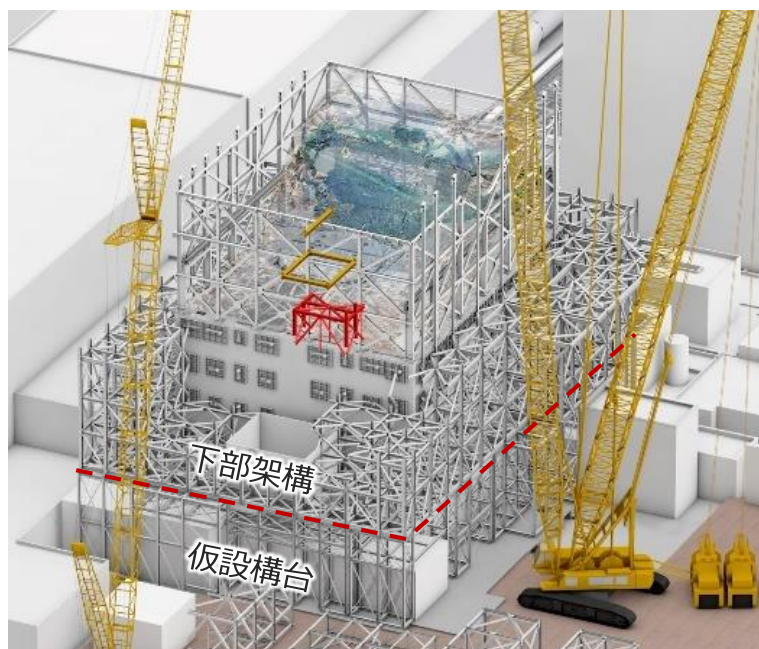
- アンカー削孔がない場合とある場合の荷重変形（せん断応力-せん断ひずみ）の比較を以下に示す。両者の結果に顕著な差異はみられず、欠損による耐震安全上の影響はないことを確認した。
- 評価の詳細を添付資料4に示す。



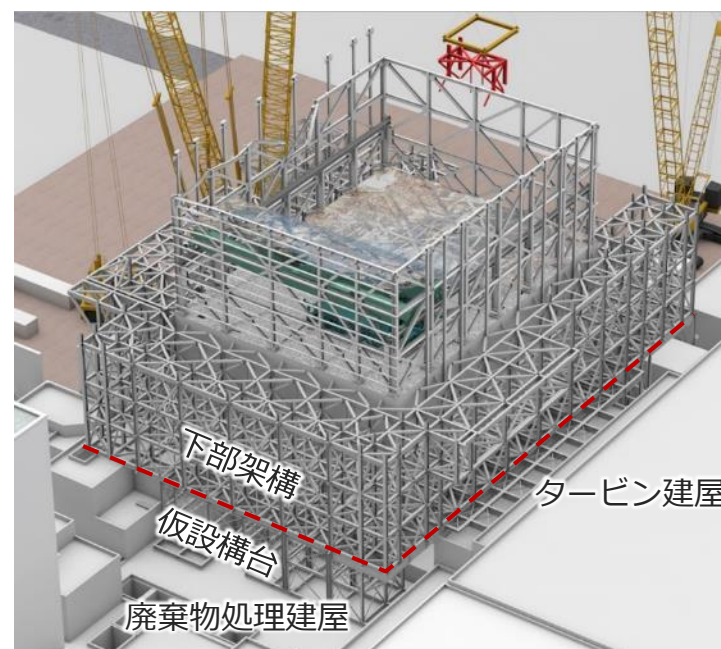
せん断応力-せん断ひずみの比較

# 大型カバーの施工（仮設構台の役割）

- 大型カバーの組み立てに当たり、下部架構を設置する際には、仮設構台を利用する。
- 仮設構台は、地盤面から建てられており、原子炉建屋の四面に設置される。
- 下部架構がアンカーにより原子炉建屋に支持された後は、仮設構台側に下部架構等の大型カバーの荷重はかからないようになる。なお、大型カバー設置後も残置する。



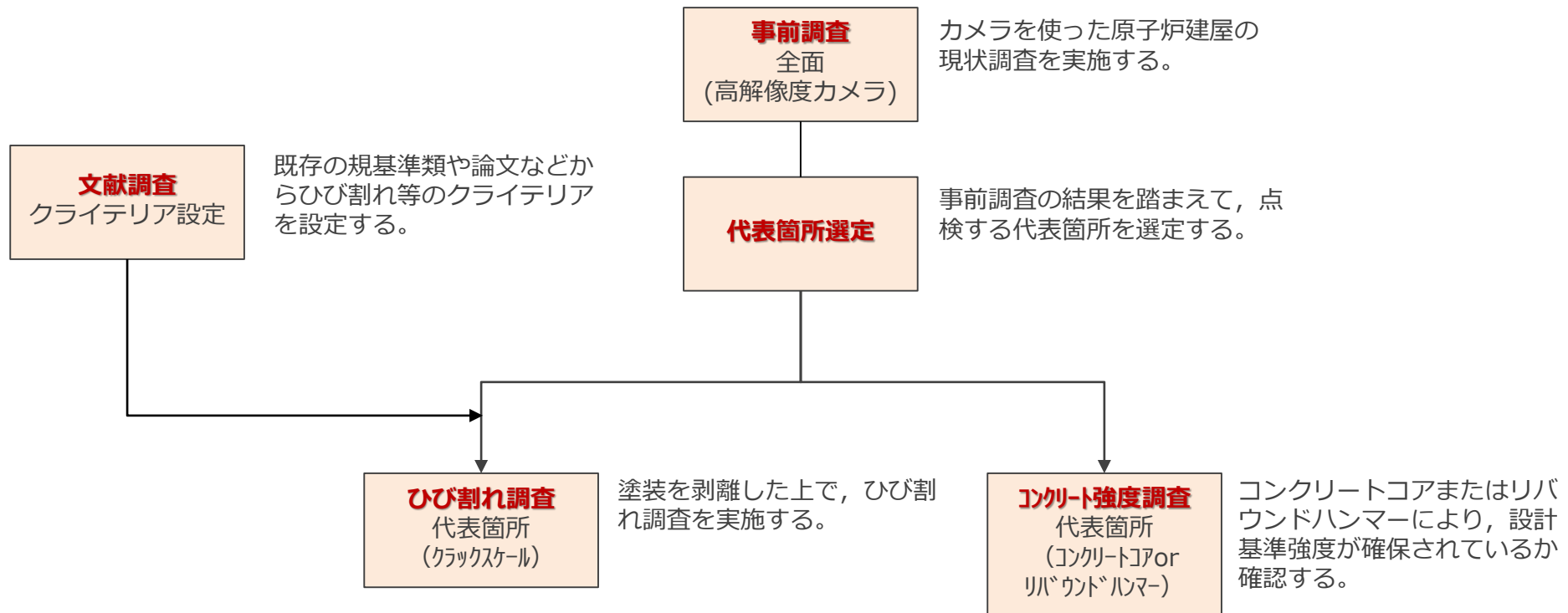
北西側からのイメージ



南東側からのイメージ

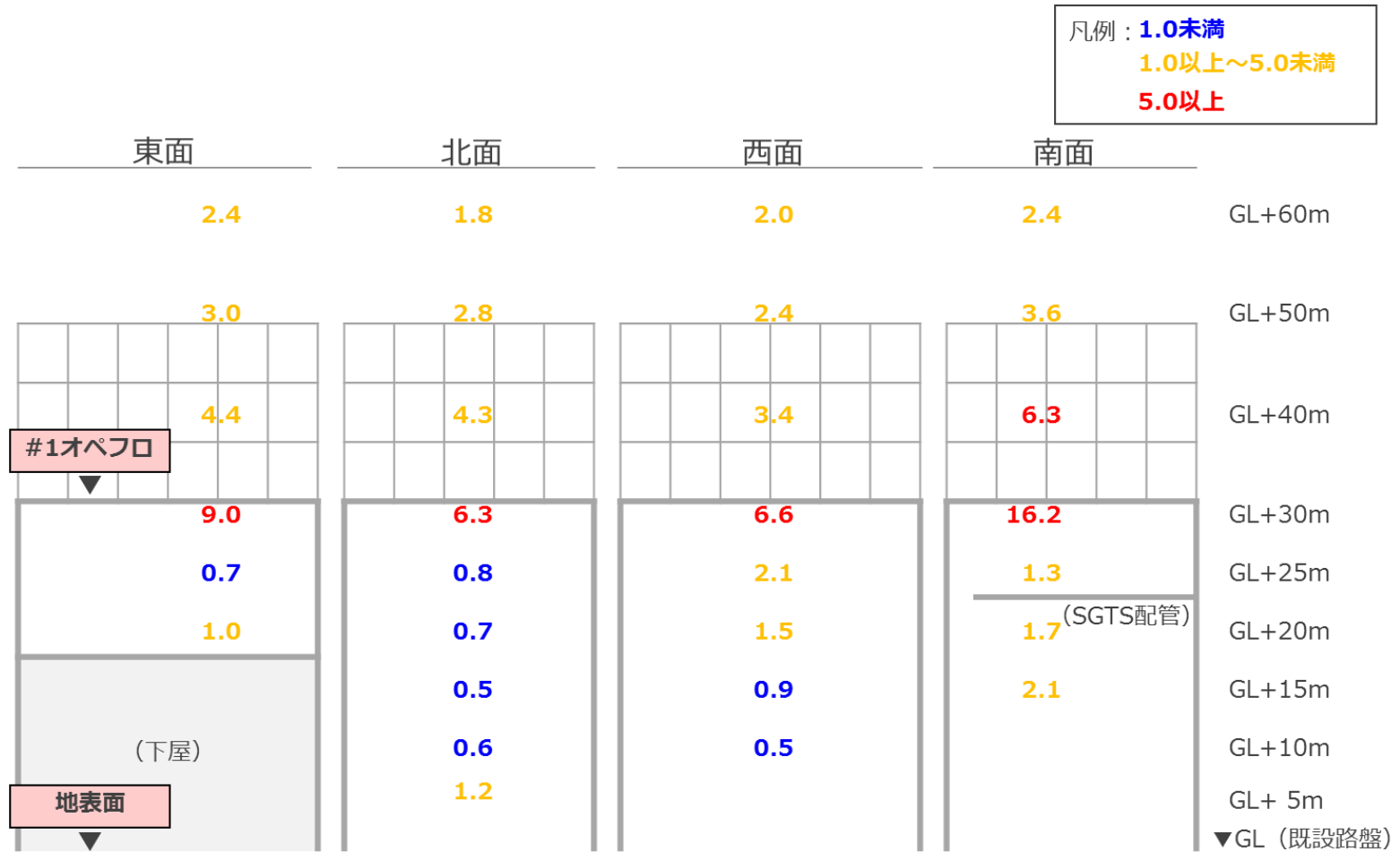
# 原子炉建屋の外壁調査計画（全体方針）

- 大型カバー設置に当たっては，原子炉建屋外壁にアンカーにより支持させることから，原子炉建屋の外壁の状態を確認することが重要である。
- このため，アンカーを設置する上で確認が必要なひび割れ調査及びコンクリート強度調査を実施する。



# 原子炉建屋の外壁調査計画（線量環境）

- 外壁調査は、高所かつ高線量箇所であるため、事前調査は遠隔からカメラ撮影により行い、ひび割れ調査及びコンクリート強度調査はアンカー削孔装置を使用し削孔のタイミングに合わせてながら実施する計画である。



原子炉建屋における壁面の線量について（測定：2019年）（単位:mSv/h）

# 原子炉建屋の外壁調査計画（事前調査）

- 原子炉建屋に地震，水素爆発，その他経年劣化によって，大きなひび割れ等の損傷が生じていないことを確認するため，目視による調査を実施する。
- 目視による調査に当たっては，高線量及び高所であることを考慮して，高解像度カメラによる調査を実施し，ひび割れ調査及びコンクリート強度調査の代表箇所を選定する。

## PHASEONE XF Camera Systems



### 使用する高解像度カメラ

- メーカー：PHASEONE
- 型番：XF IQW3 100PM
- 解像度：1億100万画素
- 有効画素数：11608×8708



撮影した写真画像の一例（西面）

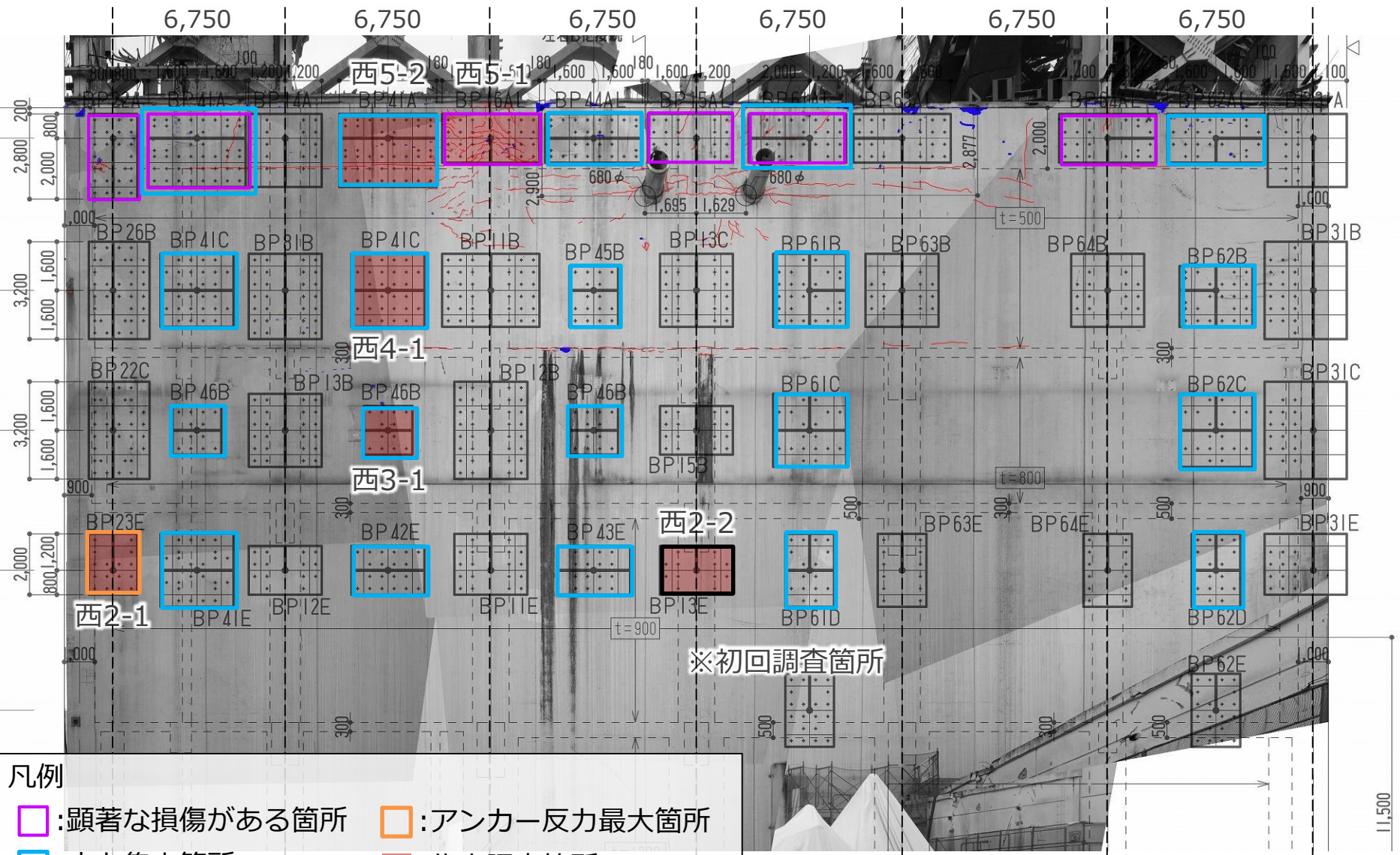
# 原子炉建屋の外壁調査計画（代表箇所を選定方法）

- R/B外壁部は高線量であることから、ひび割れ調査及びコンクリート強度調査は代表的な箇所を選定し実施する。
- 選定にあたっては、事前調査で塗膜面に損傷が認められる箇所、応力集中箇所、アンカー反力最大箇所の中から各面各段1~2箇所を選定する。
  - 塗膜面に損傷がある箇所  
各面各段のアンカー設置箇所の塗膜面に割れや剥離が比較的多い箇所を代表箇所とする。
  - 応力集中箇所  
地震及び水素爆発の影響を受ける場合、柱梁に囲まれた有効スパンが広く、壁厚の薄い箇所が最も不利となることから、各面各段のアンカー設置箇所のうち、壁厚-有効スパンの比率が最も小さい箇所とする。
  - アンカー反力最大箇所  
基準地震動Ss600による地震応答解析の結果から得られる、各面の大型カバーアンカー反力の最大箇所とする。なお、アンカーには引張力とせん断力が生じるが、本設計ではせん断力が支配的となる。



# 原子炉建屋の外壁調査計画（事前調査結果）

## 西面



- 凡例
- : 顕著な損傷がある箇所
  - : アンカー反力最大箇所
  - : 応力集中箇所
  - : 代表調査箇所

## 原子炉建屋の外壁調査計画（事前調査結果）

## ■ 代表箇所を選定プロセス

## ● 西面

段数	No.	選定理由
5	西5-1	塗膜面に損傷がある箇所の内、塗膜面の損傷が著しい箇所を選定
	西5-2	応力集中箇所の内、塗膜面の損傷が著しい西5-1近傍が、より応力を受けたと想定し選定
4	西4-1	応力集中箇所の内、調査の作業性を考慮し5段目調査箇所を近傍の列に選定
3	西3-1	西4-1と同理由
2	西2-1	当該面のアンカー反力検定比が最大の箇所を選定 $Q/Q_a=0.89(P/P_a=0.17)$
	西2-2	調査の作業性を考慮し初回アンカー設置箇所を選定

## 【凡例】

Q : アンカーのせん断力

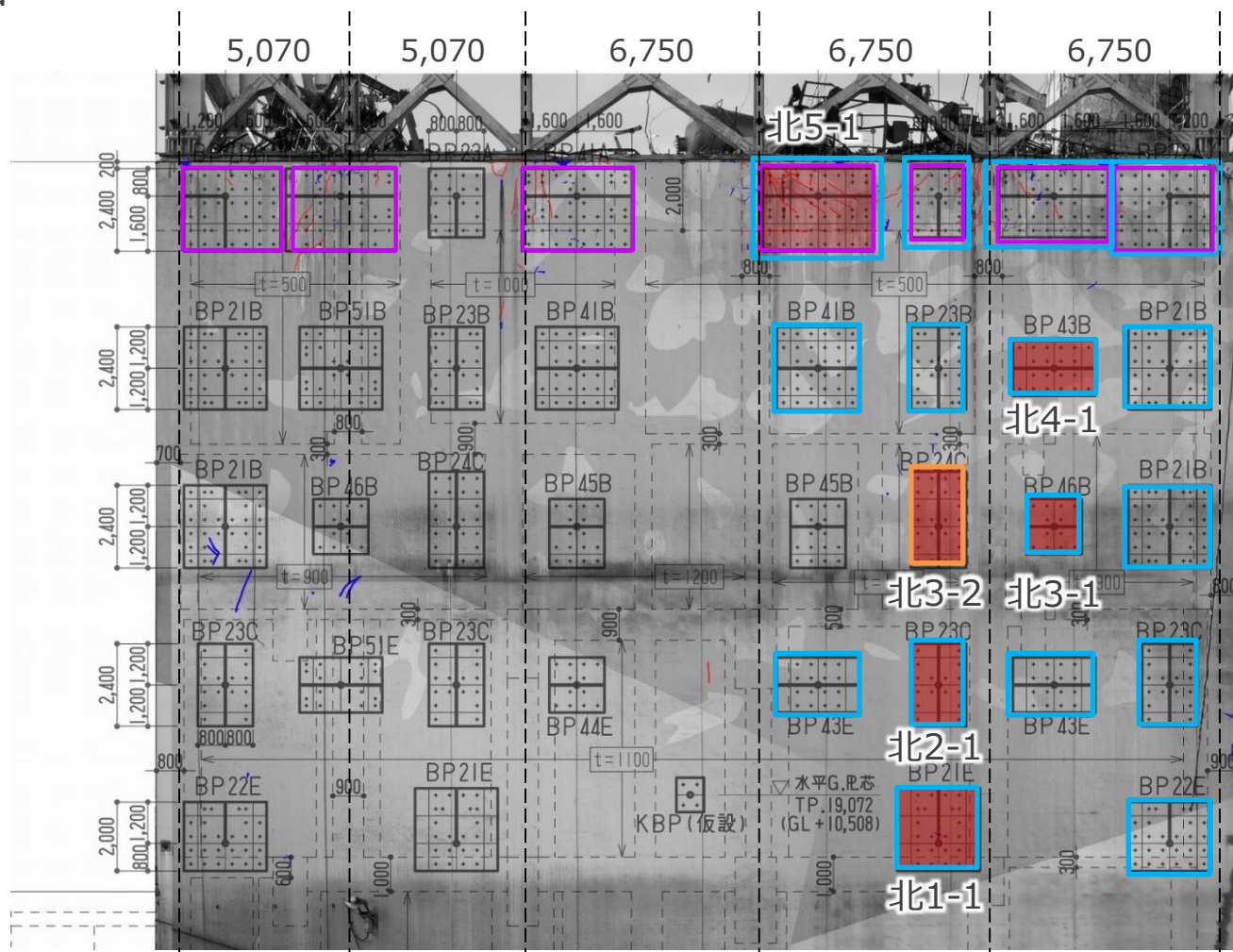
Q<sub>a</sub> : アンカーのせん断耐力

P : アンカーの引張力

P<sub>a</sub> : アンカーの引張耐力

# 原子炉建屋の外壁調査計画（事前調査結果）

## ■ 北面



### 凡例

- : 顕著な損傷がある箇所
- : アンカー反力最大箇所
- : 応力集中箇所
- : 代表調査箇所

# 原子炉建屋の外壁調査計画（事前調査結果）

## ■ 代表箇所を選定プロセス

### ● 北面

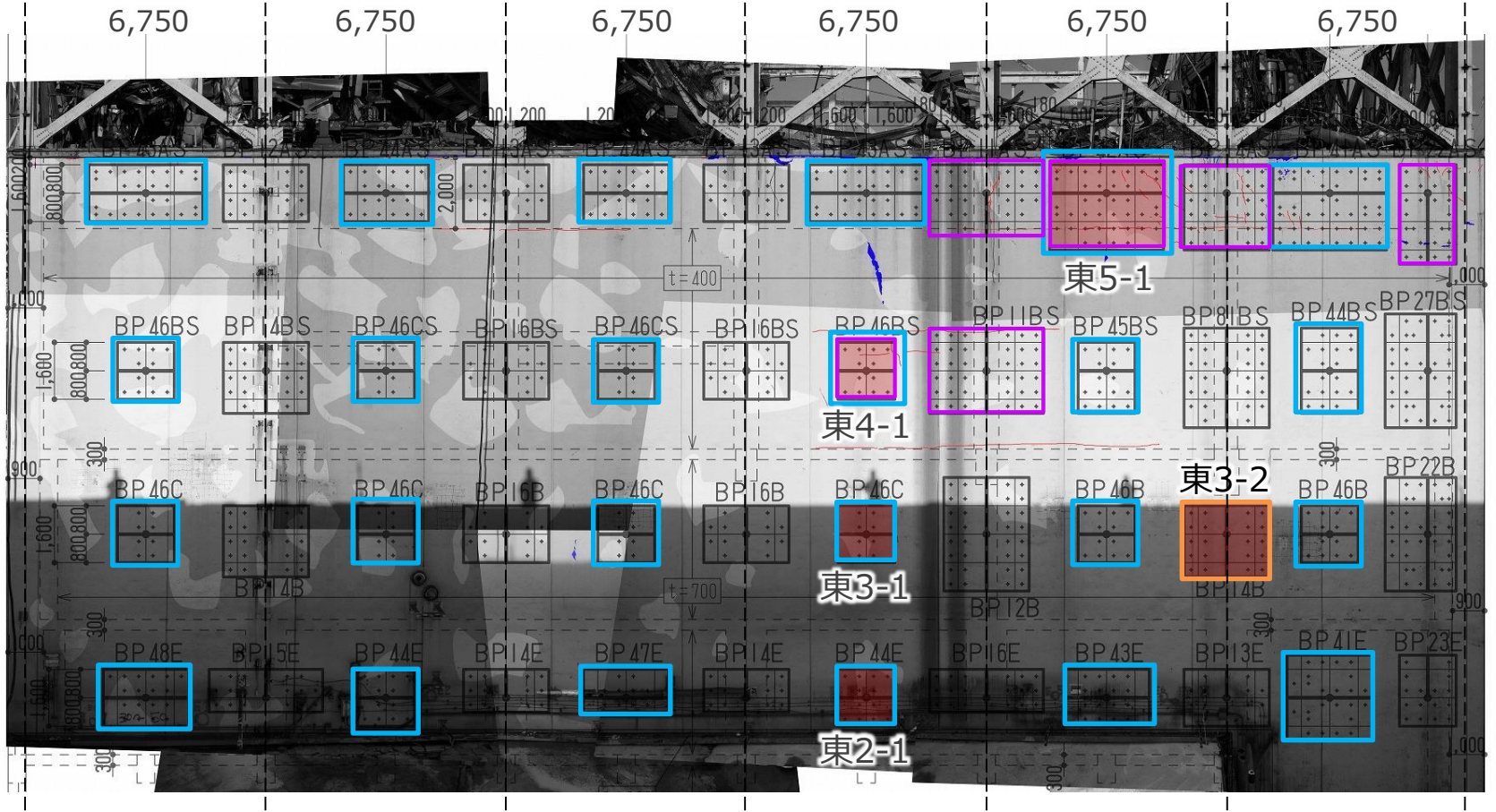
段数	No.	選定理由
5	北5-1	塗膜面に損傷がある箇所と応力集中箇所が重複する箇所のうち、比較的塗膜面の損傷が大きい箇所を選定
4	北4-1	応力集中箇所の内、調査の作業性を考慮し1~4段を近傍に選定
3	北3-1	北4-1と同理由
	北3-2	当該面のアンカー反力検定比が最大の箇所を選定 $Q/Q_a=0.89(P/P_a=0.22)$
2	北2-1	北4-1と同理由
1	北1-1	北4-1と同理由

#### 【凡例】

Q : アンカーのせん断力  
 $Q_a$  : アンカーのせん断耐力  
 P : アンカーの引張力  
 $P_a$  : アンカーの引張耐力

# 原子炉建屋の外壁調査計画（事前調査結果）

## 東面



凡例

<span style="border: 1px solid purple; padding: 2px;"> </span> : 顕著な損傷がある箇所	<span style="border: 1px solid orange; padding: 2px;"> </span> : アンカー反力最大箇所
<span style="border: 1px solid blue; padding: 2px;"> </span> : 応力集中箇所	<span style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> </span> : 代表調査箇所

## ■ 代表箇所を選定プロセス

### ● 東面

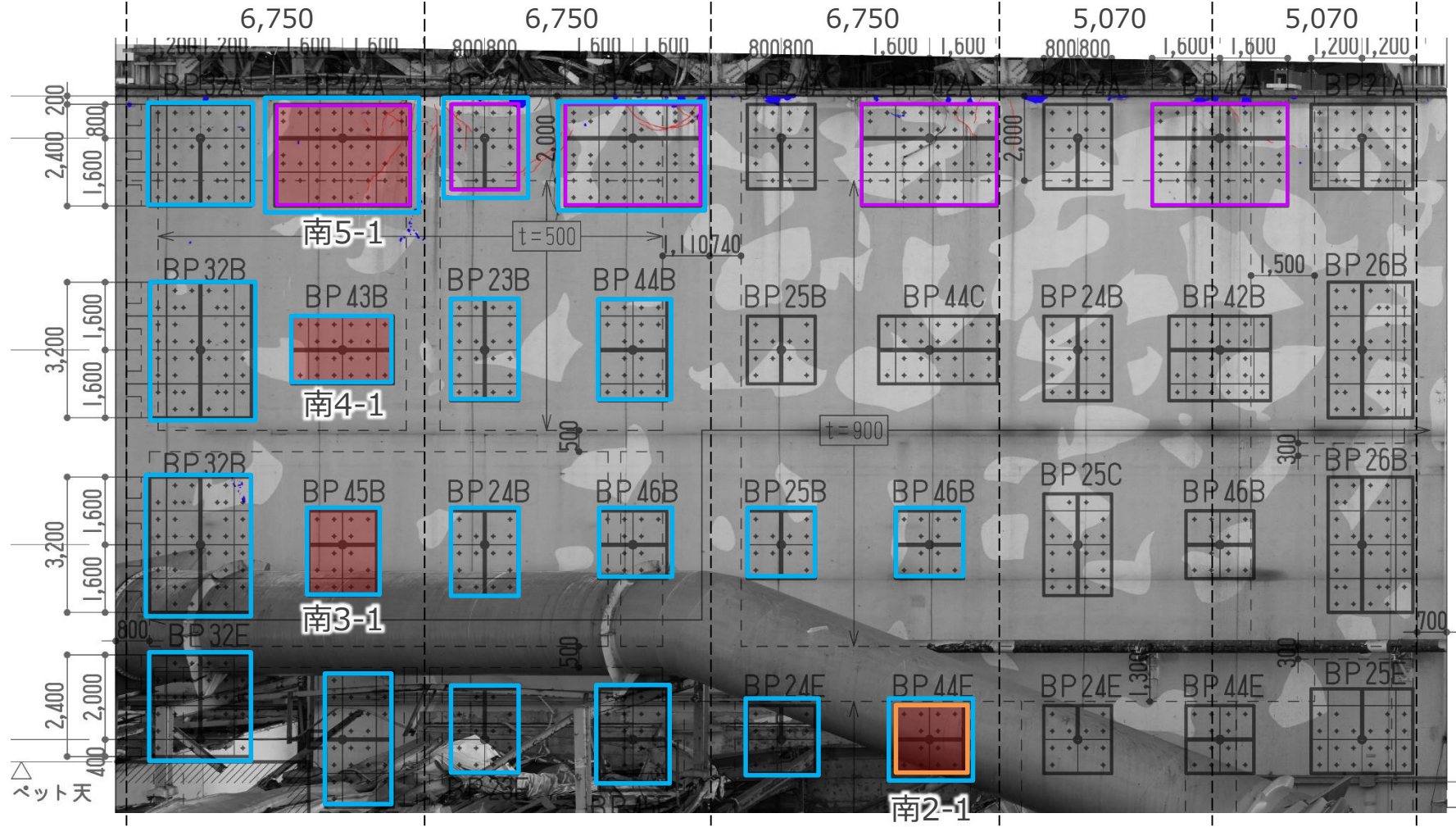
段数	No.	選定理由
5	東5-1	塗膜面に損傷がある箇所と応力集中箇所が重複する箇所を選定
4	東4-1	塗膜面に損傷がある箇所と応力集中箇所が重複する箇所を選定
3	東3-1	応力集中箇所の内、調査の作業性を考慮し東4-1近傍の列に選定
	東3-2	当該面のアンカー反力検定比が最大の箇所を選定 $Q/Q_a=0.89(P/P_a=0.13)$
2	東2-1	東3-1と同理由

#### 【凡例】

Q : アンカーのせん断力  
 $Q_a$  : アンカーのせん断耐力  
 P : アンカーの引張力  
 $P_a$  : アンカーの引張耐力

# 原子炉建屋の外壁調査計画（事前調査結果）

## ■ 南面



- 凡例
- : 顕著な損傷がある箇所
  - : アンカー反力最大箇所
  - : 応力集中箇所
  - : 代表調査箇所

# 原子炉建屋の外壁調査計画（事前調査結果）

## ■ 代表箇所を選定プロセス

### ● 南面

段数	No.	選定理由
5	南5-1	塗膜面に損傷がある箇所と応力集中箇所が重複する箇所を選定
4	南4-1	応力集中箇所の内、調査の作業性を考慮し南5-1近傍の列に選定
3	南3-1	南4-1と同理由
2	南2-1	当該面のアンカー反力検定比が最大の箇所と応力集中箇所が重複する箇所を選定 $Q/Qa=0.90(P/Pa=0.00)$

#### 【凡例】

Q : アンカーのせん断力

Qa : アンカーのせん断耐力

P : アンカーの引張力

Pa : アンカーの引張耐力



# 原子炉建屋の外壁調査計画（文献調査）

## ■ 文献の適用性について

ひび割れ調査のクライテリア設定にあたり各種文献調査を行い，1mm以下のひび割れであれば，貫通の有無，位置が設計耐力に与える影響は軽微であることを確認した。

大型カバーに用いるアンカーと文献調査におけるアンカーの比較

	大型カバーに用いる セメフォースアンカー	電共研 AIJ梗概 2018※1	岐阜大 川口 JCI 2015※2
アンカータイプ	接着系アンカー	頭付きスタッドボルト	接着系アンカー (カプセル式)
アンカーボルト径D	M33	試験部はφ19	M16
アンカー鋼材種類	SNR490B 全ねじ	SCM435 クロムモリブデン鋼	ABR400
アンカー強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏点400以上保証	降伏点785以上	引張強度400
コンクリート強度 (N/mm <sup>2</sup> )	22.1	34.1~35.6 (目標値35)	22.2 (目標値24)
埋込長さ	300mm (9D) 375mm (11D) 450mm (13D)	90mm (4.7D)	130mm (8D)
ひび割れ幅 (mm)	—	0.35, 1.0	0.2, 0.5, 1.0
ひび割れ本数	—	1本	1本
ひび割れ位置	—	アンカー位置から0	アンカー位置から 0, 4D, 8D
設計耐力 (コーン破壊) (kN)	300mm (9D) : 250 375mm (11D) : 253 450mm (13D) : 264	63~65	24.4

東京電力見解 (論文適用の妥当性)	—	<p>①試験体のコンクリート強度は、本設計の実強度と同程度である。</p> <p>②試験体厚さ方向に貫通するひび割れで保守的な設定となっている。</p> <p>③アンカー設置後のひび割れであり、ヘッドに沿って剥離してすべりが生じるなど、本設計のあと施工仕様より厳しい破壊状況となっている。</p> <p>④ひび割れ幅0.35mm, 1.0mmの引抜試験を実施しているが、1.0mmであっても設計耐力（コーン破壊）を上回っている。</p> <p>⑤埋込長さが4.7Dと本設計の仕様より短いが、安定した耐力を保持している。</p> <p>⑥無筋ゾーンへの定着であり、実機のように壁筋の効果を見逃した保守的な設定である。</p>	<p>①セメフォースアンカーと同じ、接着系アンカーを対象としている。</p> <p>②試験体のコンクリート強度は、本設計と同程度である。</p> <p>③試験体厚さ方向に貫通するひび割れで保守的な設定となっている。</p> <p>④ひび割れ幅0.2, 0.5, 1.0mmの引抜試験を実施しているが設計耐力（コーン破壊）を上回っている。</p> <p>⑤ひび割れから4D・8D程度離れていても、ひび割れなしと同等の耐力を保持している。</p> <p>⑥無筋ゾーンへの定着であり、実機のように壁筋の効果を見逃しており保守的な設定である。</p>
----------------------	---	---	---

※1 水谷他 ひび割れがあるアンカー部の耐力試験（その1~3）2018AIJ梗概

※2 川口他 コンクリート強度及びひび割れがあと施工アンカーの耐荷性に与える影響 2015JCI論文

# 原子炉建屋の外壁調査計画（アンカー引抜き実験）

## ■ 目的

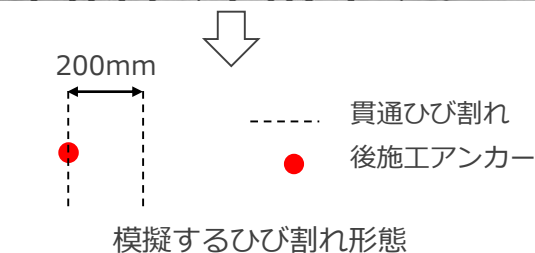
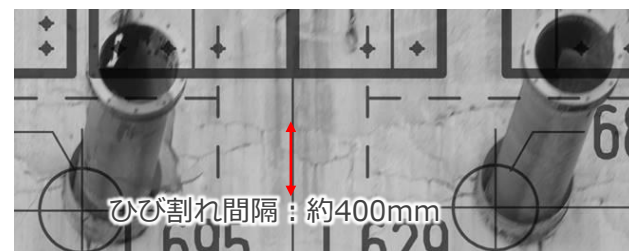
- 既往文献では考慮されていない1mm超えのひび割れ形態を模擬した場合のアンカー許容耐力を確認する。2mm超えのひび割れは補修等を行うことから、ひび割れ幅1~2mm及びひび割れ無しを想定した実験とする。

## ■ 実験計画

- 静的加力試験における相似則を考慮し、おおむね実機の1/2縮尺となるよう試験体を設定する。
- ひび割れの形態は、事前調査よりひび割れ間隔は400mm程度であることから、アンカーを貫通する貫通ひび割れに加え、アンカーから200mm離れた箇所に貫通ひび割れを設ける。ひび割れ幅は、1mm以上のひび割れを対象とする。なお、今後のひび割れ調査に応じて別途追加実験を検討する。

実機と試験体の諸元

		実機	試験体
RC壁	コンクリート強度	Fc=225 kg/cm2 実強度 35N/mm2	Fc=22 N/mm2 実強度 30N/mm2程度
	鉄筋	上下とも- 1.5段25@200(SD35)	上下とも- 1段D16@100(SD345)
アンカーボルト	径	M33	M16
	材質	SNR490B, Sy≥400	SNR490B, Sy≥400
	埋込深さ	300,375,450mm	160mm
ひび割れ幅		0mm~ 2mm程度	0mm, 1mm (参考2mm)
ひび割れ発生メカニズム		曲げひび割れ	貫通ひび割れ (保守的)



※詳細は次ページ以降

# 原子炉建屋の外壁調査計画（アンカー引抜き実験）

- 大型カバー設置工事で適用予定のあと施工アンカー※1を対象に、近傍にひび割れが存在した場合のアンカー設計強度（せん断・引抜）に及ぼすひび割れ影響を把握するため、実機の1/2 縮小試験体を用いた静的加力試験を行う。

※1：住友大阪セメント社製 超速硬セメント系注入式あと施工アンカー「セメフォースアンカー」

## 実機と試験体の諸元比較

		実機	試験体（1/2縮小）	相似則の考え方
RC壁	コンクリート強度	Fc=225 kg/cm <sup>2</sup> 実強度 30N/mm <sup>2</sup> 以上	Fc=22 N/mm <sup>2</sup> 実強度 30N/mm <sup>2</sup> 以下	アンカー強度計算に直接関連するため実機強度と同等以下のコンクリートを採用
	鉄筋	上下とも- 1.5段D25@200(SD35)	上下とも- 1段D16@100(SD345)	アンカー強度計算に直接関連しないが実機と同等程度の鉄筋比となるよう設定（ $\rho_t \approx 0.7\%$ ）
アンカーボルト	径	M33	M16	実機の概ね1/2の標準ボルト径を設定
	材質	SNR490B, Sy $\geq$ 400	SNR490B, Sy $\geq$ 400 (引抜試験はSCM435Hを使用)	せん断：実機ボルトを削り出し製作 引抜：破壊モードをコーン破壊とするため高強度材料を採用
	埋込深さ	375mm	160mm	ボルト径が実機の1/2よりも若干細いため確実にコーン破壊するよう若干浅めに埋込み深さを設定
ひび割れ幅		0mm ~ 2mm程度	0mm, 1mm, 2mm※2	実機換算（0mm~4mm※2）となるよう1/2倍の幅で設定
ひび割れ発生メカニズム		曲げひび割れ	貫通ひび割れ	既往実験知見※3を参考に打設前にテフロンシートを挟み込み貫通ひび割れを模擬

※2：実機のひび割れ幅は最大で2mm程度であるが、参考として実機換算4mmについても実施した

※3：川上他：超速硬セメント系注入式あと施工アンカーの引抜耐力に及ぼすひび割れの影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，2014，pp1894-1899

### 試験日のコンクリート圧縮強度

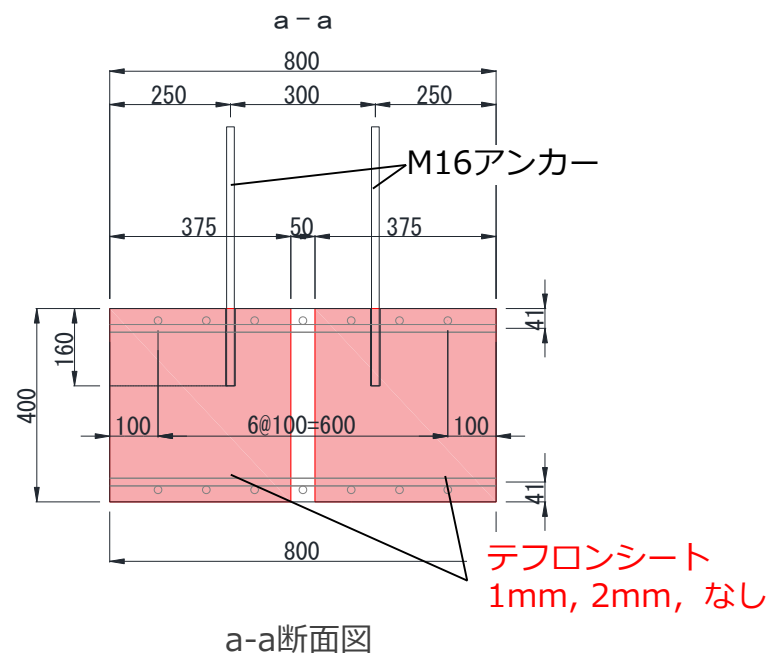
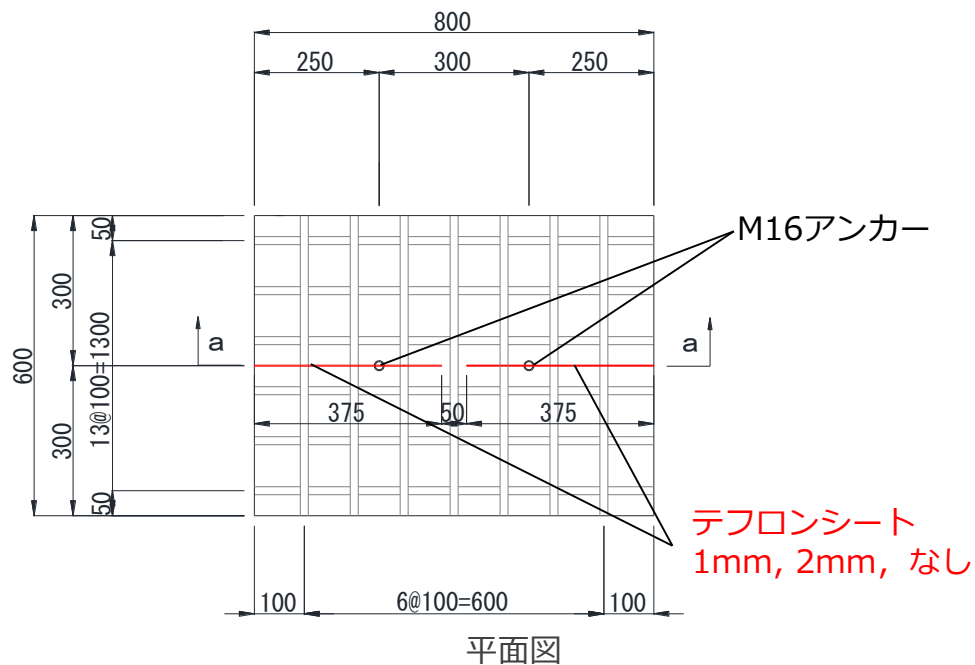
せん断試験	28.3 N/mm <sup>2</sup>
引抜試験	28.7 N/mm <sup>2</sup>

### アンカーボルトの降伏強度(引張試験結果)

SNR490B	445 N/mm <sup>2</sup>
---------	-----------------------

SCM435は高強度鋼のため降伏強度はなし

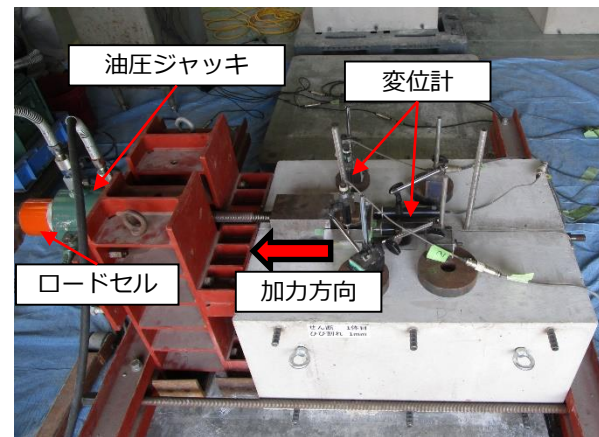
## ■ 試験体概要（せん断試験体）



せん断試験体 打設前

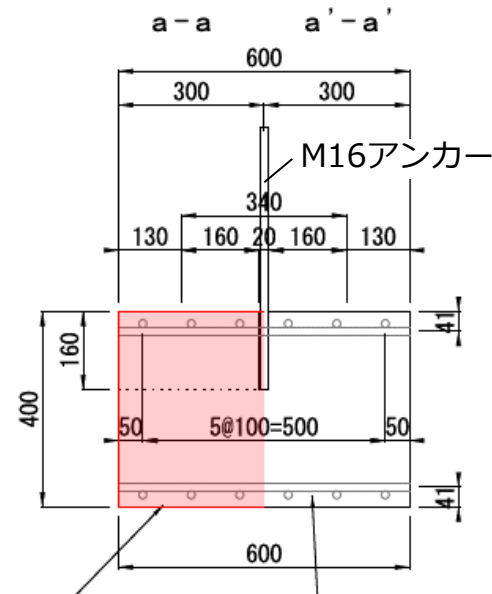
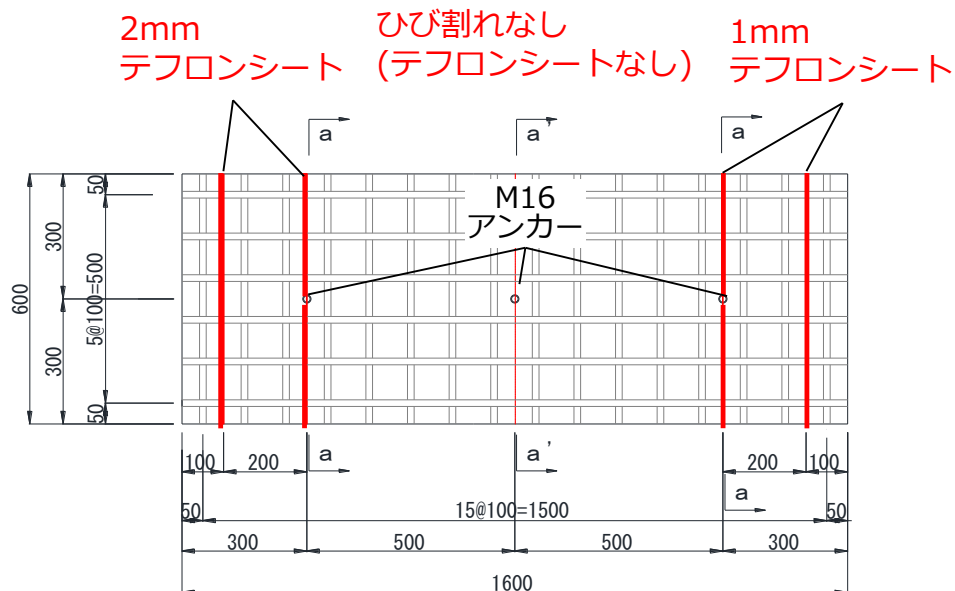


せん断試験体



実験の様子

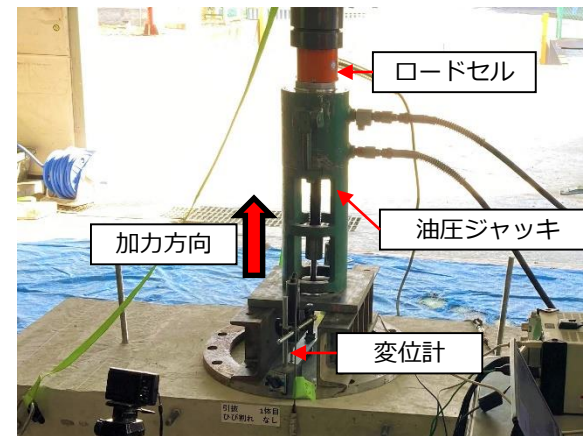
## ■ 試験体概要（引抜試験体）



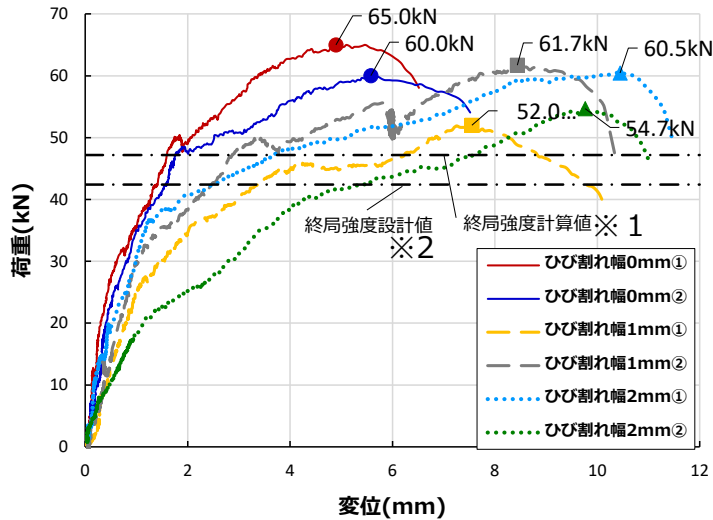
引抜試験体 打設前



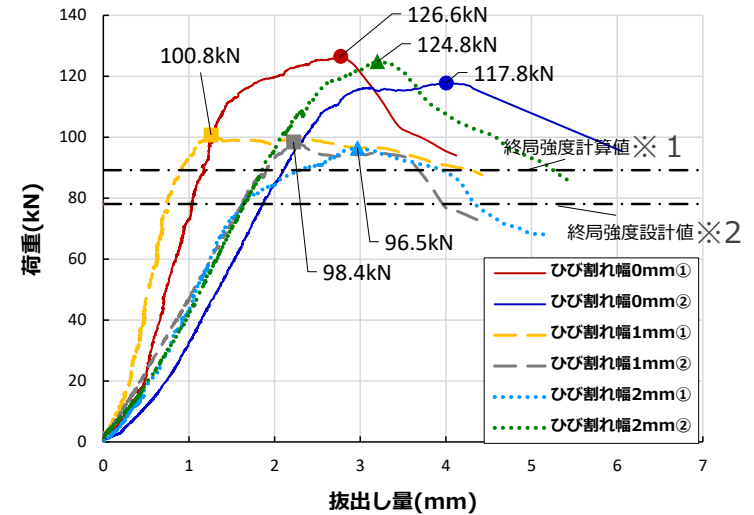
引抜試験体



## ■ 荷重変形関係



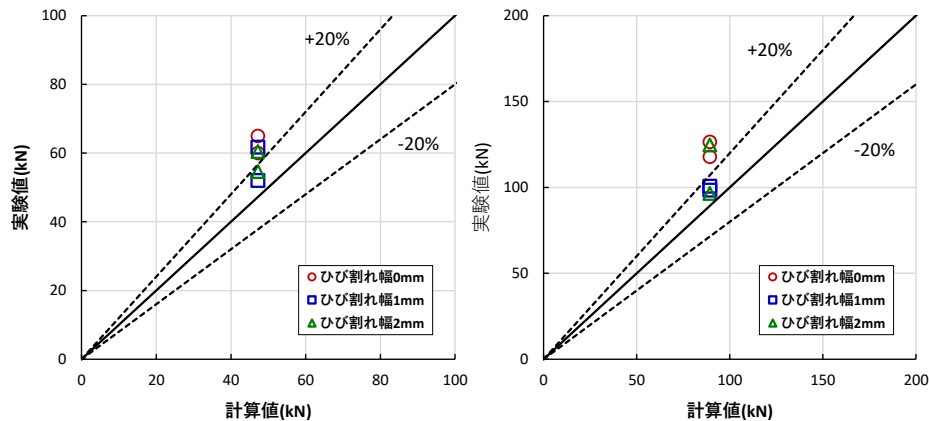
せん断試験結果



引抜試験結果

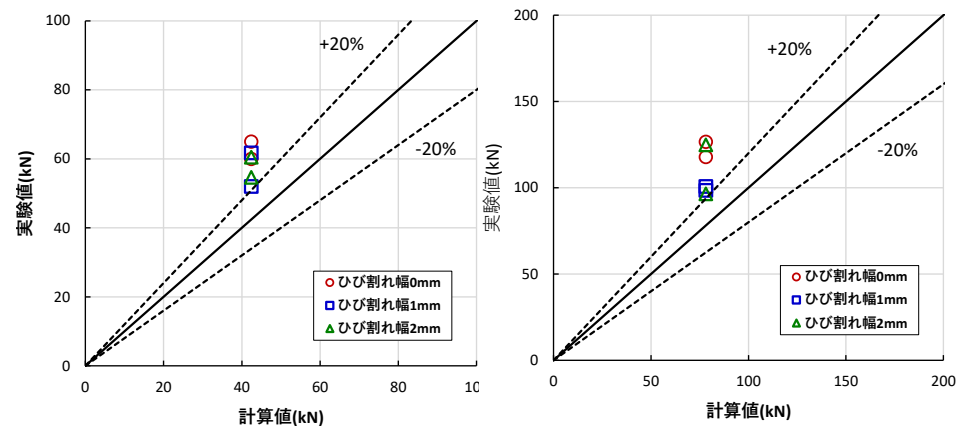
## ■ 最大値と終局強度計算値※1の比較

## ■ 最大値と終局強度設計値※2の比較



せん断試験結果

引抜試験結果



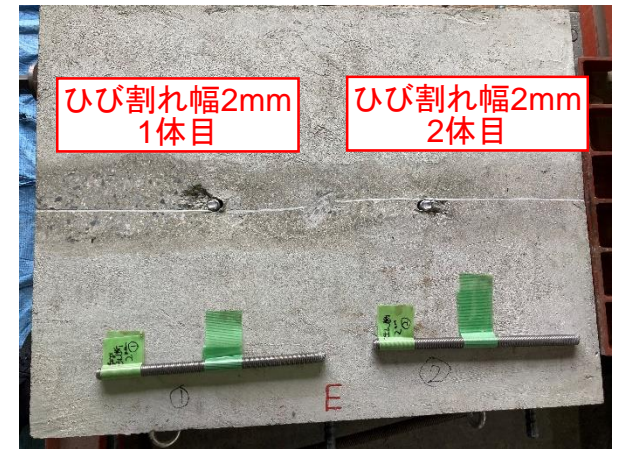
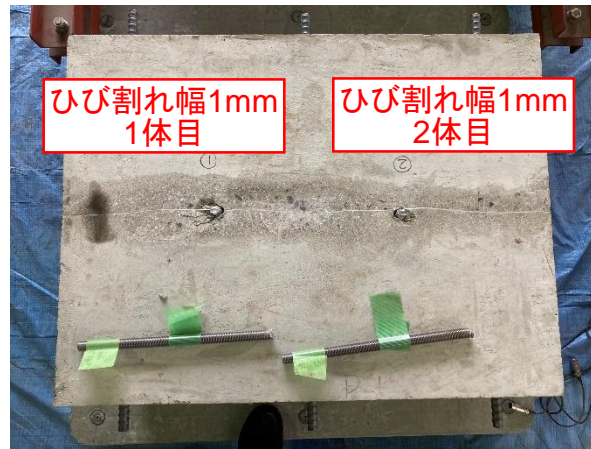
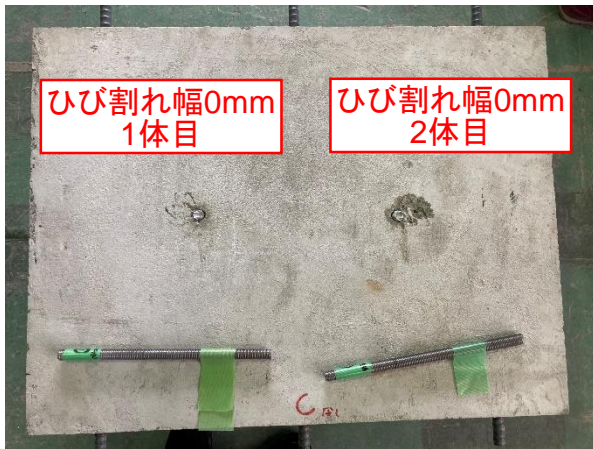
せん断試験結果

引抜試験結果

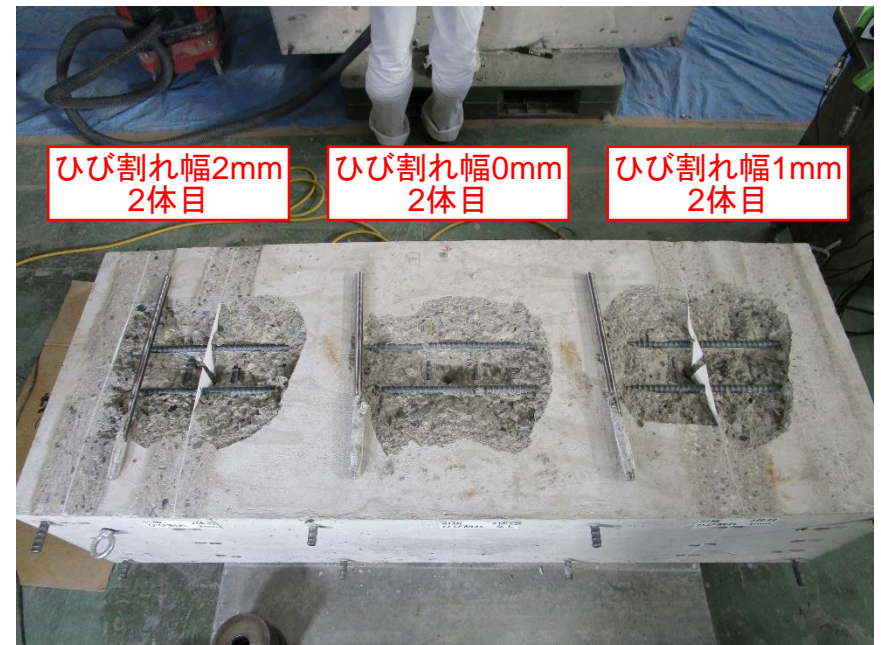
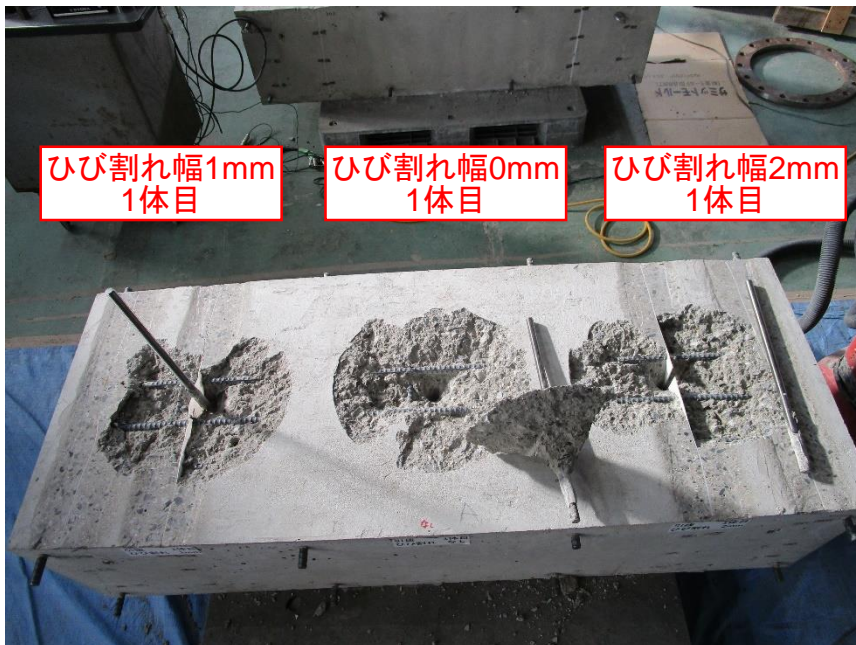
※ 1 : コンクリートの試験体実強度及び鉄筋の引張試験結果に基づき、実機設計式を用いて算定した終局強度計算値  
 ※ 2 : コンクリートの設計基準強度及び鉄筋の規格降伏点強度に基づき、実機設計式を用いて算定した終局強度設計値

# 原子炉建屋の外壁調査計画（アンカー引抜き実験）

## 破壊性状（せん断試験体）



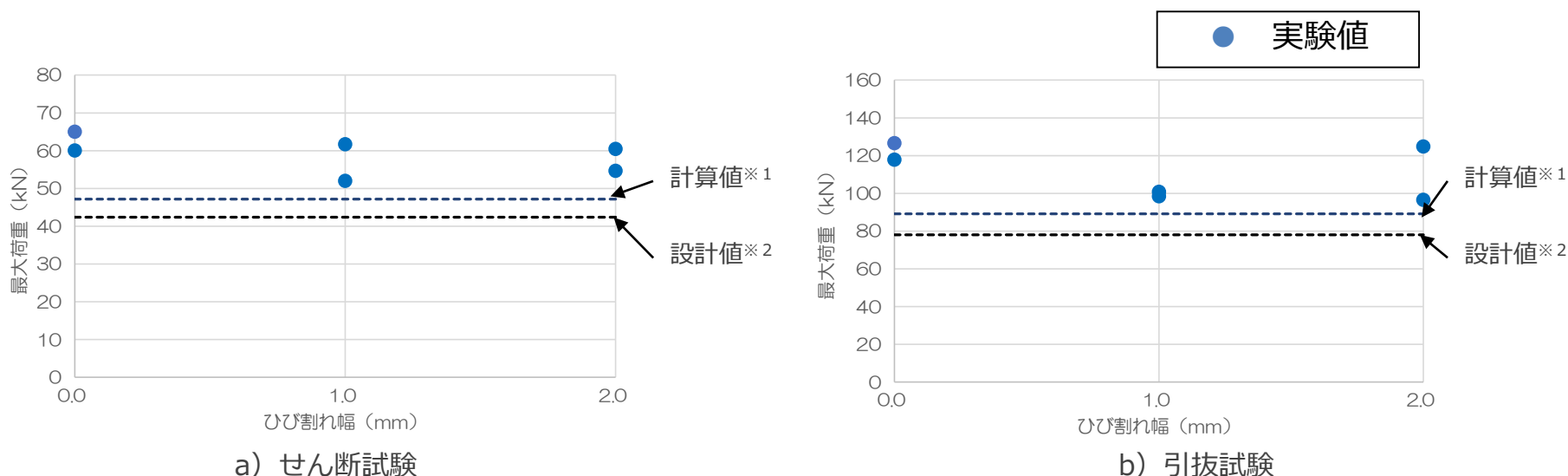
## 破壊性状（引抜試験体）



## ■ まとめ（その1）

- せん断実験はひび割れの有無にかかわらず，終局強度計算値※<sup>1</sup>に対して最大で2割程度，終局強度設計値※<sup>2</sup>に対して3割以上それぞれ実験値が高い結果となった。
- 引抜実験はひび割れ無しの試験体の実験値は，終局強度計算値※<sup>1</sup>に対して最大で2割程度，終局強度設計値※<sup>2</sup>に対して3割以上高い結果となった。
- 一方で，ひび割れがある場合の実験値はひび割れ無しの実験値と比べて最大で2割程度耐力が低下したが，いずれも終局強度計算値※<sup>1</sup>，終局強度設計値※<sup>2</sup>を上回る結果となった。

※<sup>1</sup>：コンクリートの試験体実強度及び鉄筋の引張試験結果に基づき，実機設計式を用いて算定した終局強度計算値  
 ※<sup>2</sup>：コンクリートの設計基準強度及び鉄筋の規格降伏点強度に基づき，実機設計式を用いて算定した終局強度設計値

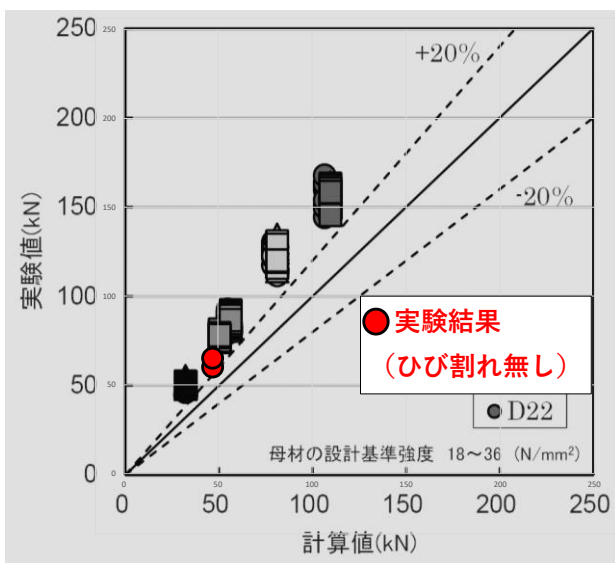


ひび割れ幅と最大荷重の関係

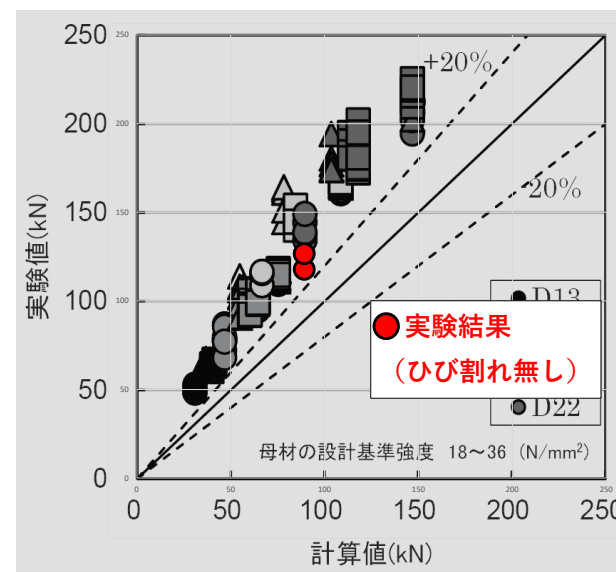


## ■ まとめ（その2）

- ひび割れ無しの試験体についてはせん断実験，引抜実験とも既往のセメフォースアンカーの実験結果と同様の傾向（設計値に対して2割程度の裕度を有する）が確認できた。



a) せん断試験



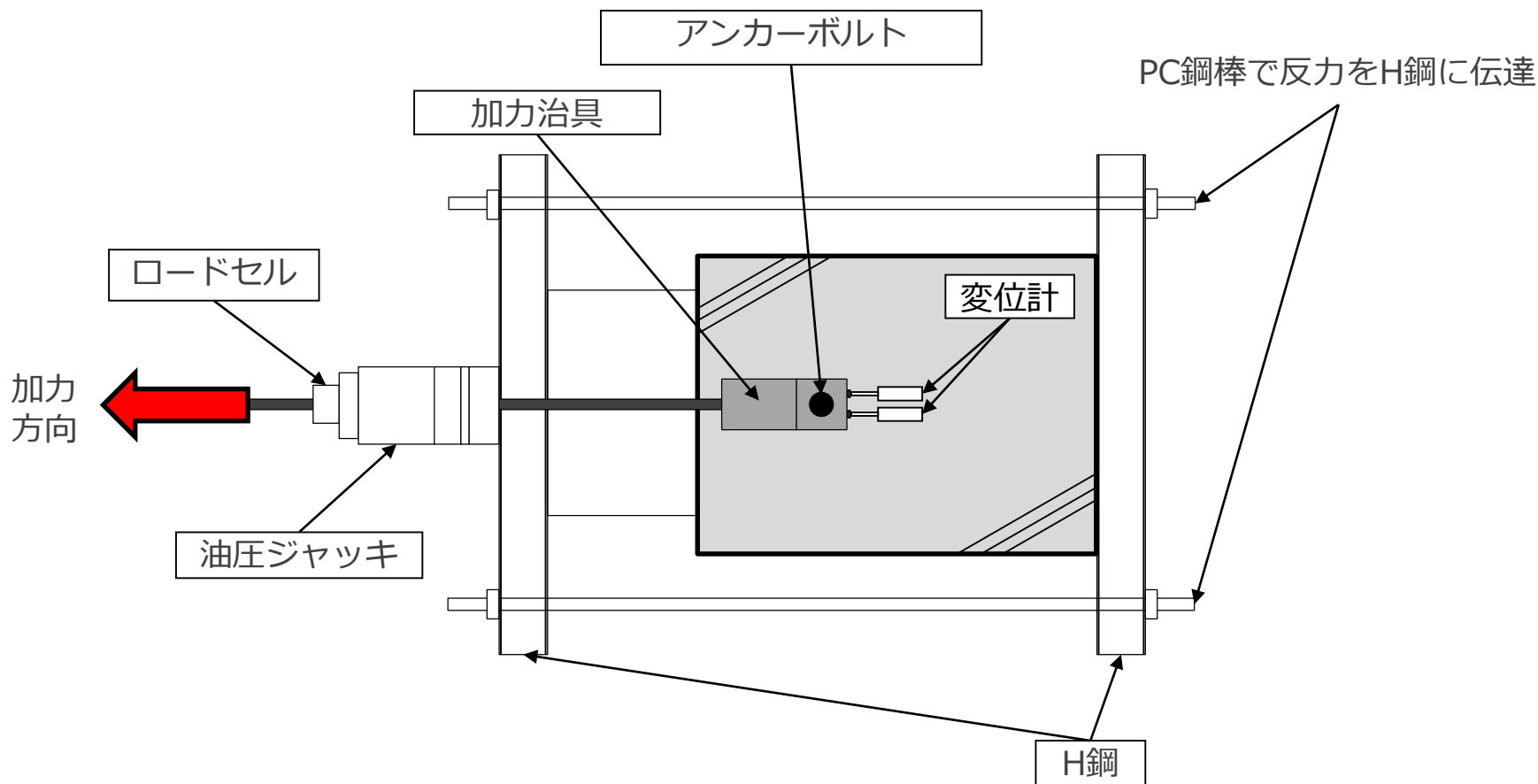
b) 引抜試験

セメフォースアンカの既往実験結果※に本実験結果をプロット

## ■ 参考1/2

### ● せん断実験

下図の通り，アンカーボルトに加力治具と変位計を取り付け，水平方向変位の平均値をとることで，アンカーボルトの滑り変位を計測している

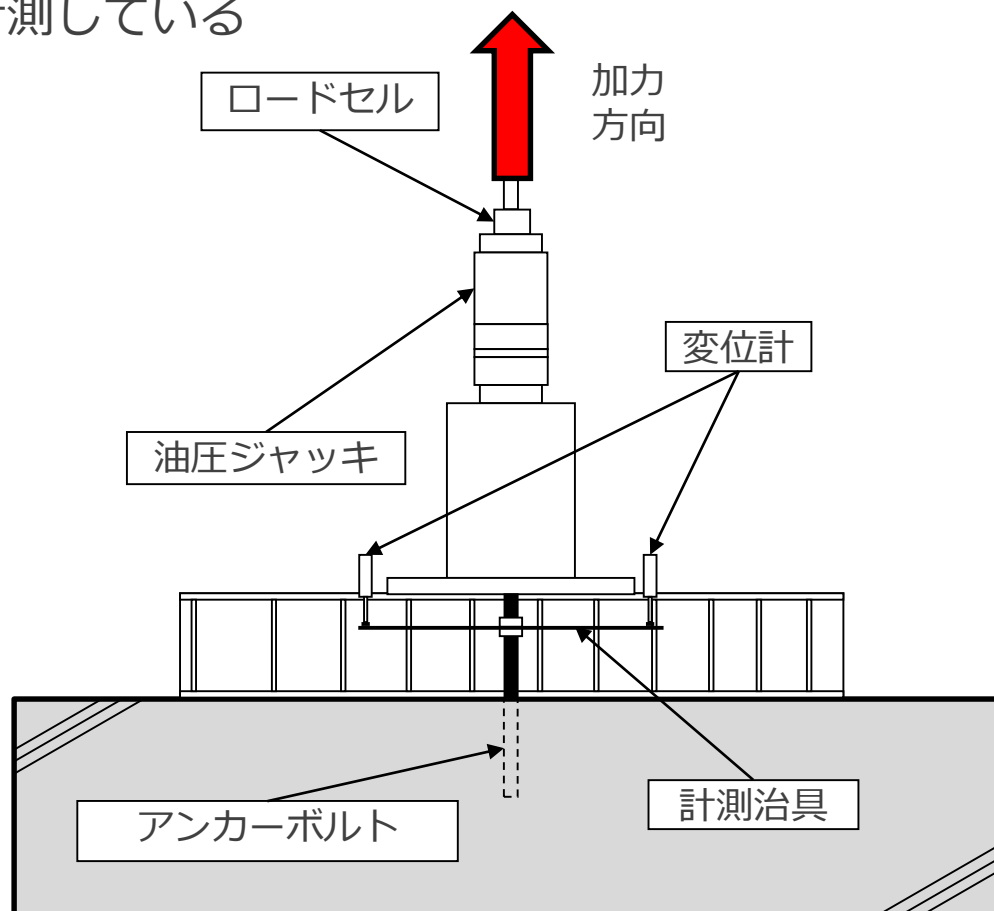


平面図

## ■ 参考2/2

### ● 引抜実験

下図の通り，アンカーボルトに計測治具と変位計を取付け，アンカーボルトの左右2カ所の鉛直方向変位の平均値をとることで，アンカーボルトの抜け出し量を計測している



立面図

# 原子炉建屋の外壁調査計画（クライテリアの設定）

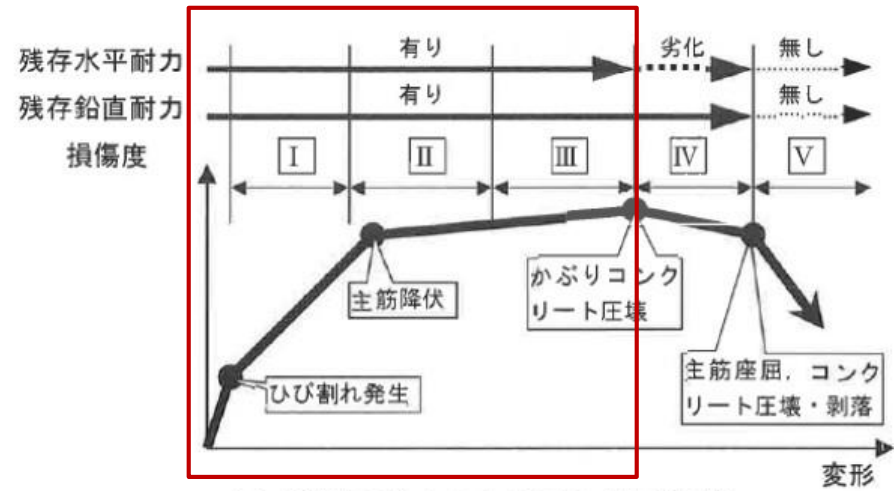
## ■ クライテリアの設定

### ● ひび割れ

- 外壁の構造性能に関するもの
- 水素爆発による損傷の場合，曲げ部材の損傷程度を考慮する必要があり，文献※<sup>1</sup>によると，損傷度Ⅰ～Ⅲでは水平耐力と鉛直耐力はともにほとんど低下しないとされている。
- このため，ひび割れ調査にあたっては損傷度Ⅳ以降の損傷が確認された場合には耐力低下影響の詳細評価を実施する。

表Ⅱ.2.3-1 損傷度分類の基準

柱、耐力壁の損傷度	損傷内容
I	近寄らないと見えにくい程度のひび割れ（ひび割れ幅 0.2mm 以下）
II	肉眼ではっきり見える程度のひび割れ（ひび割れ幅 0.2～1mm 程度）
III	比較的大きなひび割れが生じているが、コンクリートの剥落は極くわずかである。（ひび割れ幅 1～2mm 程度）
IV	大きなひび割れ（2mm を超える）が多数生じ、コンクリートの剥落も著しく鉄筋がかなり露出している。
V	鉄筋が曲がり、内部のコンクリートも崩れ落ち、一見して柱（耐力壁）に高さ方向や水平方向に変形が生じていることがわかるもの。沈下や傾斜が見られるのが特徴。鉄筋の破断が生じている場合もある。



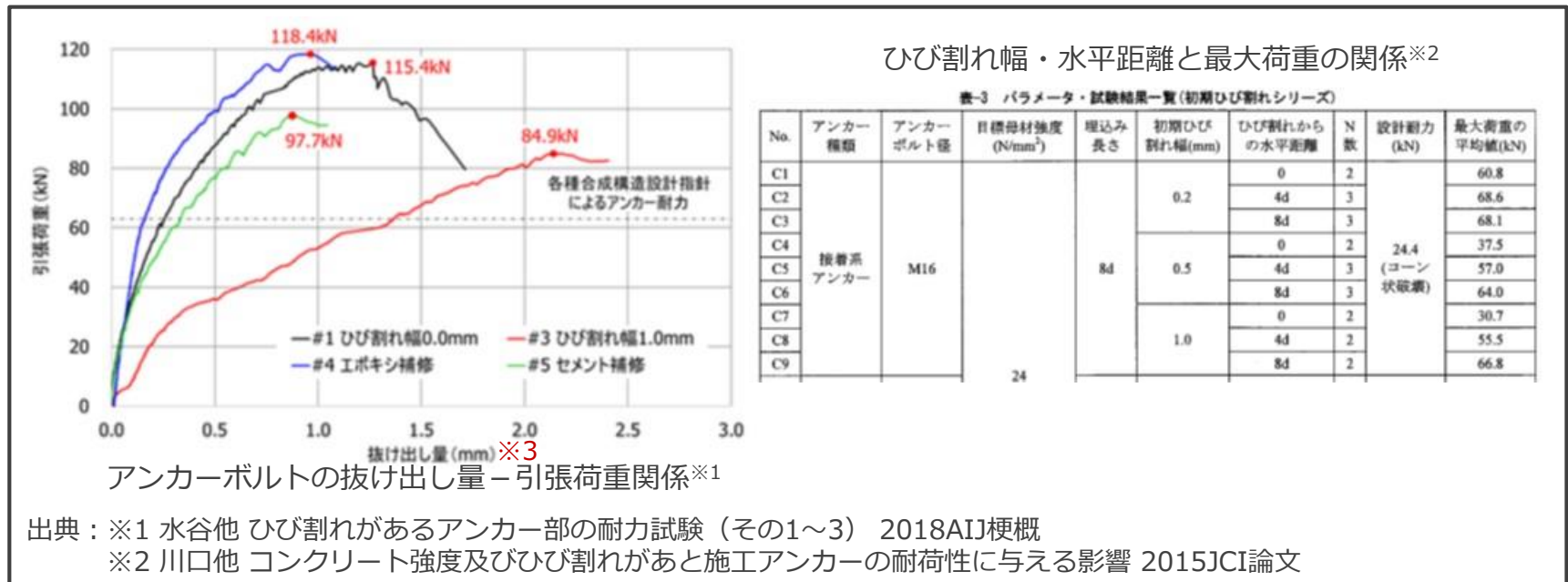
(a) 塑性変形能力のある部材（曲げ部材）

# 原子炉建屋の外壁調査計画（クライテリアの設定）

## ■ クライテリアの設定

### ● ひび割れ

- アンカーの耐力に関するもの  
文献※1,2によると、アンカーを貫通するひび割れについて1mm以下であれば、最大耐力は低下するものの各種合成構造設計指針によるアンカー耐力を満足する結果が得られている。また、アンカーを貫通しないひび割れは、アンカー耐力に有意な影響を及ぼすものではない結果となっている。よって、アンカー位置に1mmを超える貫通ひび割れが確認された場合は、アンカー位置を貫通しない位置に見直す。



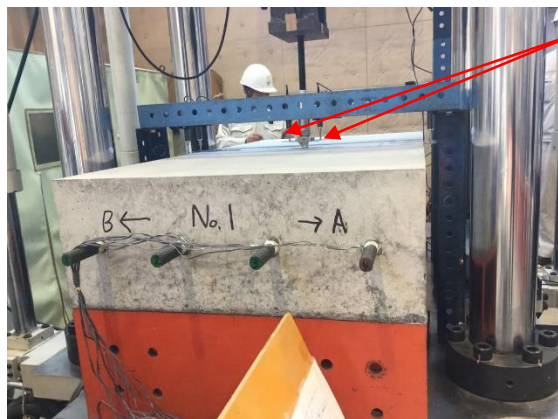
出典：※1 水谷他 ひび割れがあるアンカー部の耐力試験（その1～3） 2018AIJ梗概

※2 川口他 コンクリート強度及びひび割れがあと施工アンカーの耐荷性に与える影響 2015JCI論文

※3 抜け出し量の定義については次項

## ■ アンカーボルトの抜け出し量の定義

- 中央の変位計 2 本平均の値を抜け出し量と称している。両脇の変位計は試験体全体の浮き等ないかを確認している。



中央の変位計2本



破壊状況（断面）



破壊状況（平面）

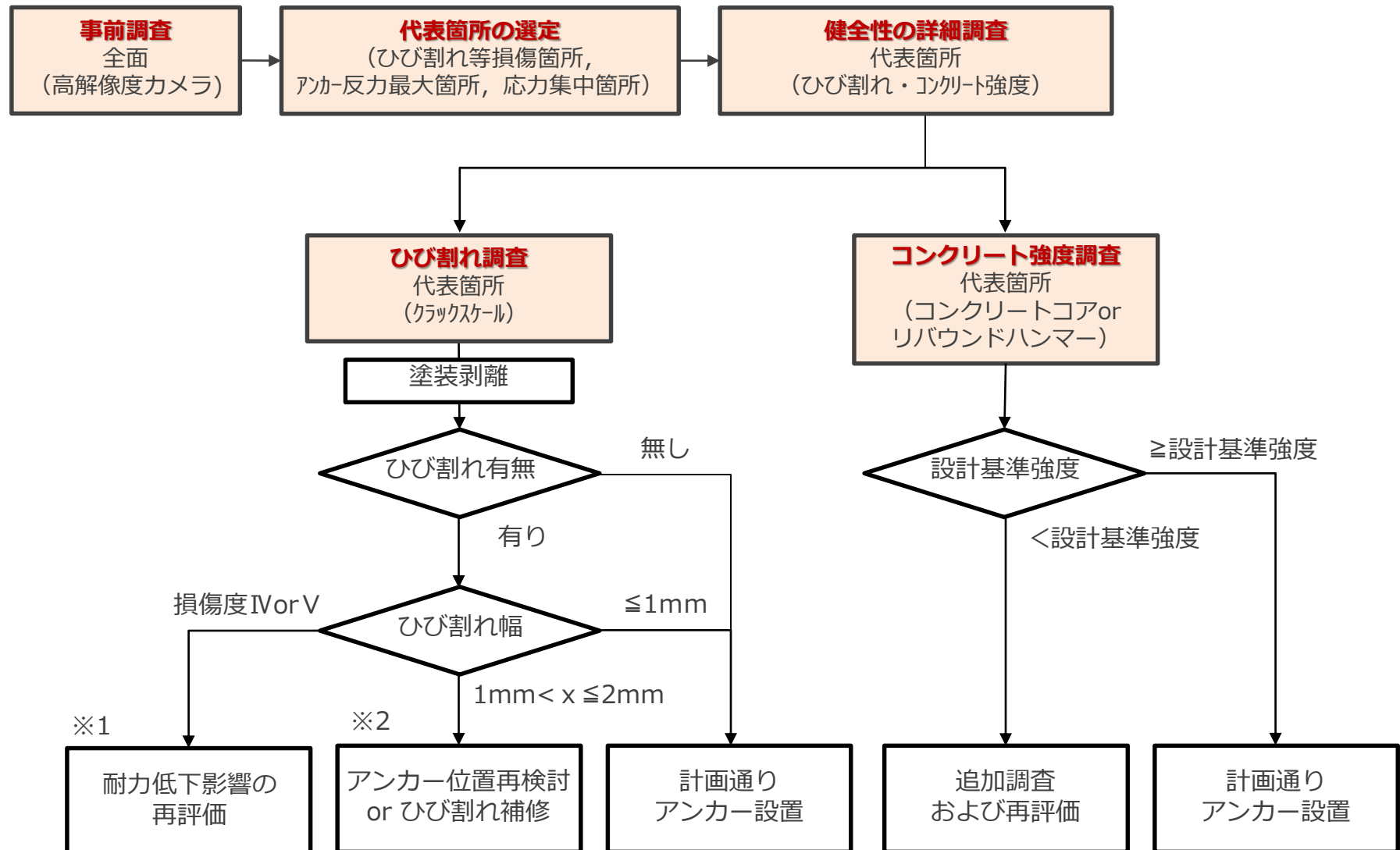
試験の状況（本論文とは別試験）

- 試験体#3（ひび割れ幅 1.0mm）では、コーンひび割れは貫通ひび割れの片側にだけ進展し、他方はひび割れ形成には至っていないものの、アンカーヘッドがコンクリートにかかっており、支圧によりコンクリートが破壊しているように観察できる。コーンが両側に構成される試験体に比べて、変形は大きくなるものの、AIJ 各種合成構造設計指針によるアンカー耐力を上回っている。

# 原子炉建屋の外壁調査計画（調査フロー）

- 文献調査に基づき，次ページ以降に示す調査フローを設定した。
- 代表箇所では，ひび割れ調査，コンクリート強度調査両方を行う。
  - ひび割れ調査
    - 外壁の構造性能に関するもの  
「震災建築物の被災度被災度区分判定基準および復旧技術指針」（以下，「復旧技術指針」という）に基づき，損傷度ⅣまたはⅤを判定する。損傷度ⅣまたはⅤと判定した場合は，耐力低下影響の詳細評価を実施する。  
なお，代表箇所において，損傷度ⅣまたはⅤに相当する損傷が確認された場合は，当該面・段の塗膜面に割れのある箇所もひび割れ調査の対象とする。
    - アンカー耐力に関するもの  
アンカー設置位置を貫通する1mmを超えるひび割れが確認された場合はアンカー位置を再検討する。  
なお，代表箇所において，コンクリート面に1mmを超えるひび割れが確認された場合，当該面・段の塗膜面に割れのある箇所は直下に1mmを超えるひび割れがあるものとして，アンカー位置を再検討する。  
ひび割れを避けられない場合は，ひび割れを補修する。
  - コンクリート強度調査
    - 各種合成構造設計に基づきアンカーの許容値を算定していることから，コンクリート強度が設計基準強度を上回ることを確認する。

# 原子炉建屋の外壁調査計画（調査フロー）



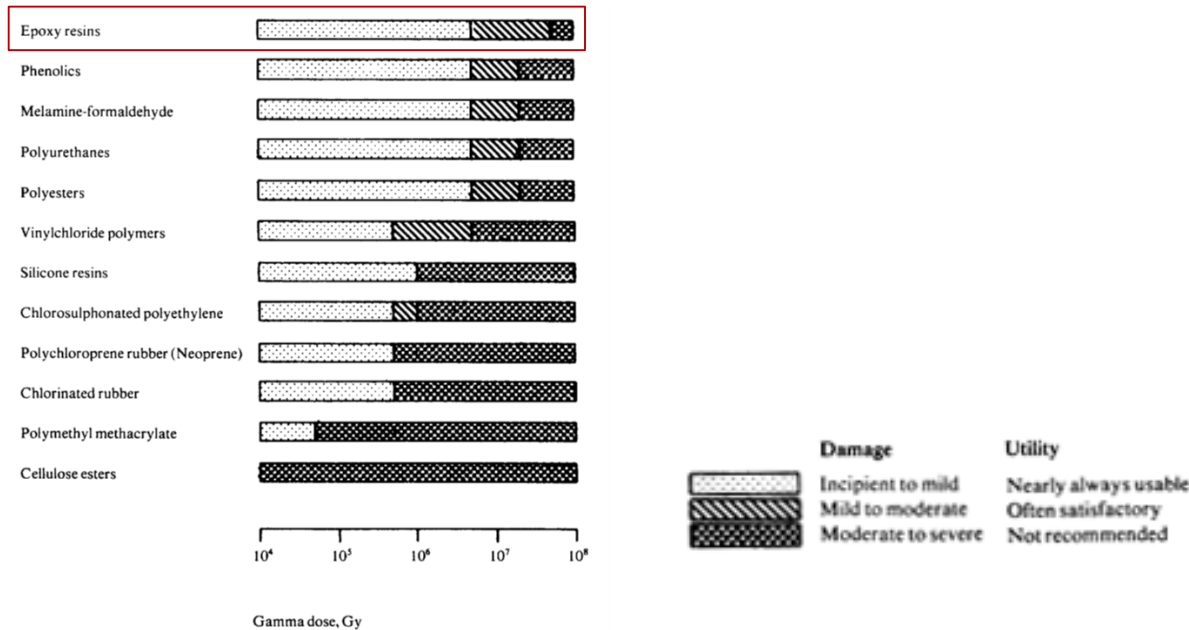
※1 損傷度IV・Vの損傷が確認された場合は、塗膜面に同様の割れがある箇所も追加調査する

※2 1mmを超えるひび割れが確認された場合は、塗膜面に同様の割れがある箇所は1mmを超えるひび割れがあるものとしてアンカー位置を再検討する



# ひび割れ補修材料の耐放射線性について (1 / 2)

- 1 mmを超えるひび割れが確認された場合、「アンカー位置の再検討」もしくは、「ひび割れ補修」を実施する。ひび割れ補修をする場合は、エポキシ樹脂注入工法を採用予定である。
- ここでは、エポキシ樹脂の耐放射線性について評価を行う。



エポキシ樹脂の耐放射線性 (CERN, COMPILATION OF RADIATION DAMAGE TEST DATA PART III: Materials used around high-energy accelerators, 1982.)

⇒エポキシ樹脂の耐放射線性は、1 MGy程度以上の照射量から強度及び接着性等が劣化するとされている

## ひび割れ補修材料の耐放射線性について（2 / 2）

- R/B4階外壁レベルで最大の空間線量は南側外壁で、16.2mSv/hである。  
16.2 mSv/h=16.2 mGy/hとすると、1 MGyの照射量に達するには、7,000年以上※かかるため、エポキシ樹脂注入材に対する放射線の影響は極めて小さいと評価する。

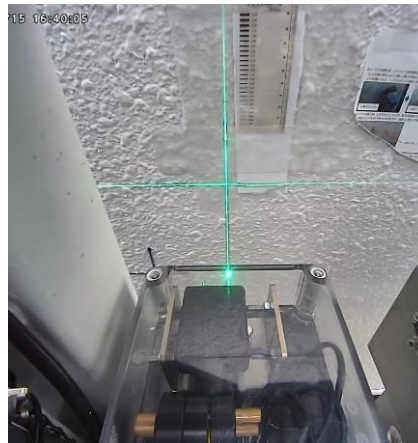
※  
エポキシの耐放射線性は1MGy (=1,000,000Gy) とすると、  
 $1,000,000\text{Gy} / (16.2\text{mGy} \times 1/1,000 \times 24\text{時間} \times 365\text{日}) \approx 7046\text{年}$

# 原子炉建屋の外壁調査計画（ひび割れ調査）

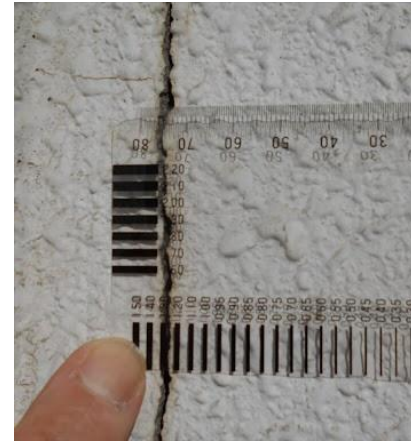
- 事前調査において選定した代表箇所について、塗膜を剥離し躯体表面のひび割れ幅をクラックスケールにより測定する。
- 塗膜の剥離は、ひび割れ等の痕跡に影響を及ぼさないよう、塗膜剥離剤を塗布した後にスクレーパー（人力）により剥離する。
- アンカー削孔時に削孔装置に設けたカメラで確認し、浮きが確認された場合は、浮き部分を研り取り損傷状況を確認する。損傷度ⅣまたはⅤと判定した場合は、耐力低下影響の詳細評価を実施する。
- 代表で塗膜面の損傷が著しい西5-1の躯体内部の損傷状況を確認するため、非破壊検査を検討する。



アンカー削孔装置フレーム



アンカー削孔装置からの  
調査イメージ



クラックスケールを用いた  
ひび割れ幅調査イメージ



塗膜剥離のイメージ

# 原子炉建屋の外壁調査計画（コンクリート強度調査）

- 代表箇所では3本のコンクリートコアの強度試験を行い、コンクリートコアの強度が設計基準強度以上であることを確認し、健全性およびアンカー計画全体の見直し有無を判断する。
- 被ばく線量低減を目的とし、代表箇所のうち西2-2で実施するコンクリートコアの強度試験以降はリバウンドハンマーによるコンクリート強度調査（非破壊調査）を採用する。



コンクリートコアの採取



採取されたコンクリートコア



コア供試体の一軸圧縮試験

# 原子炉建屋の外壁調査計画（調査結果）

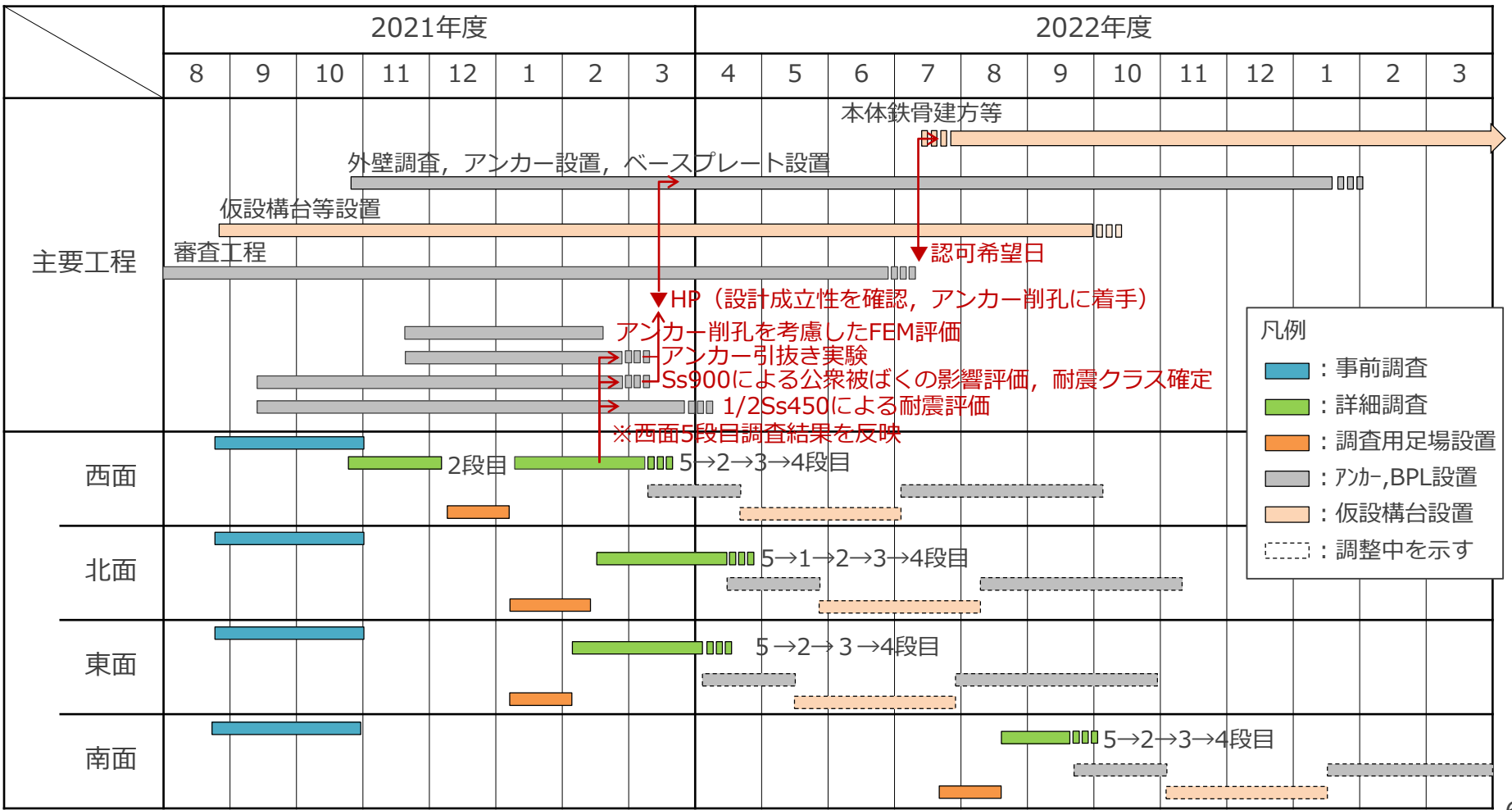
- 西2-2の調査結果を以下に示す。ひび割れ、コンクリート強度ともにクライテリアの範囲内であり計画通りアンカー設置が可能であることを確認した。
- ひび割れ調査
  - ひび割れは2箇所認められたが、いずれも1mm以下のひび割れであった。
- コンクリート強度調査
  - コンクリートコア3本の強度結果及びリバウンドハンマーの強度推定結果はいずれも設計基準強度 $22.1\text{N/mm}^2$ 上回った。

No.	コンクリートコア強度		リバウンドハンマー推定強度	
①	$35.4\text{N/mm}^2$	平均 $31.7\text{N/mm}^2$	$40.9\text{N/mm}^2$	平均 $38.8\text{N/mm}^2$
②	$27.4\text{N/mm}^2$		$38.3\text{N/mm}^2$	
③	$32.5\text{N/mm}^2$		$37.3\text{N/mm}^2$	

※コンクリートコア採取箇所近傍でリバウンドハンマーによる強度確認を実施

# 原子炉建屋の外壁調査計画（スケジュール）

- 本設計のホールドポイントを西面5段目代表箇所への調査完了及びアンカー引抜き実験完了後に設定し、**調査及び実験結果を踏まえた設計成立性を示す。**
- 西面5段目代表箇所への調査により、追加実験や外壁の抜本的な補修が必要となった場合は、数か月単位の期間を要するため、調査結果を踏まえ工程は見直す。

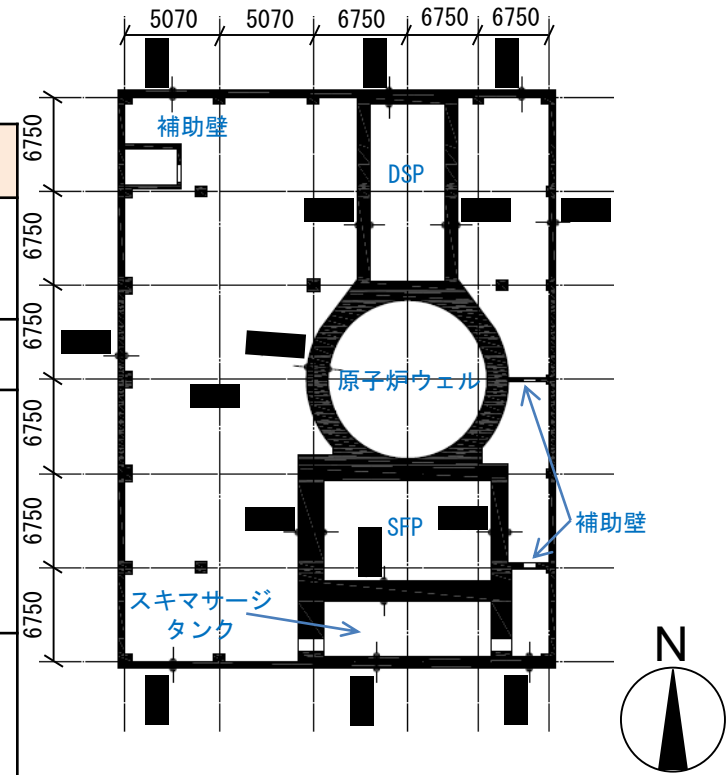


※周辺工事との調整や現場状況等を踏まえて、工程は変更となる可能性がある

# 外壁調査（4階）における西面の代表性について

- 外壁調査（4階）における西面の代表性（水素爆発の影響）について、「壁厚」「スパン」「外壁と直行する壁」「事前カメラ調査結果」から、評価する。

	西面	東面	北面	南面
壁厚(mm)	■	■	■ ■	■ ■
スパン(mm)	6750	6750	5070	5070
外壁と直行する壁	補助壁 (独立)	補助壁 (SFP、 原子炉 ウェルに 接続)	DSP壁	スキマ サージ タンク壁
事前カメラ調査 による塗膜面の 割れ	多	少	少	少



1号機原子炉建屋4階平面図

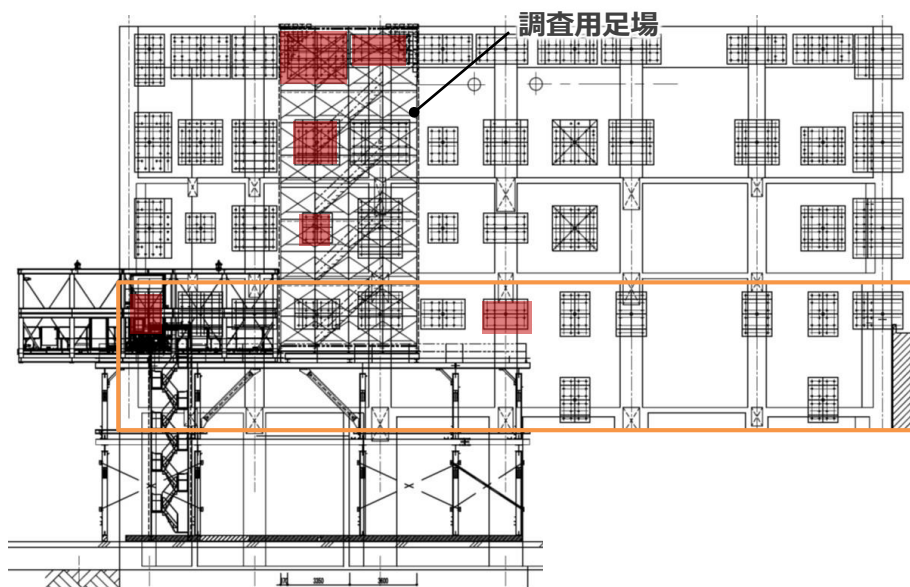
⇒西面と東面は同スパンであり、壁厚も同程度である。一方、外壁と直行する壁は西面が独立した補助壁のみであること、さらに、事前カメラ調査による塗膜面の割れが多いことから西面を代表面とする

# アンカー等の先行設置について

- アンカー設置等の先行着手の必要性について
  - 高所のアンカー設置は、仮設構台を設置しその上にアンカー削孔装置を設置し行う計画である。
  - 仮設構台と下段のアンカーおよびベースプレートが近接しており、仮設構台設置前に近接するアンカーおよびベースプレートを設置することが必要となる。
- 着手の考え方
  - アンカー削孔に伴う原子炉建屋への耐震上の影響はなく、削孔穴はアンカー挿入時に埋める。
  - 今後の調査等でアンカーの設計が見直しになった場合でも、修正、復旧が可能な範囲である。
  - 当該段代表箇所調査で問題ないことを確認した後アンカー削孔に着手する。



# アンカー等の先行設置について



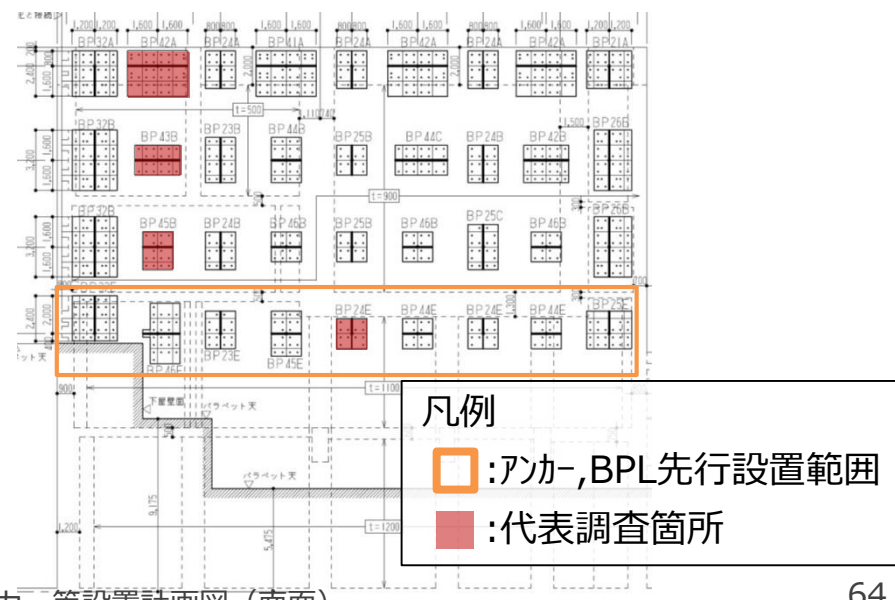
高所調査計画図 (西面)



高所調査計画図 (東面)



高所調査計画図 (北面)



アンカー等設置計画図 (南面)

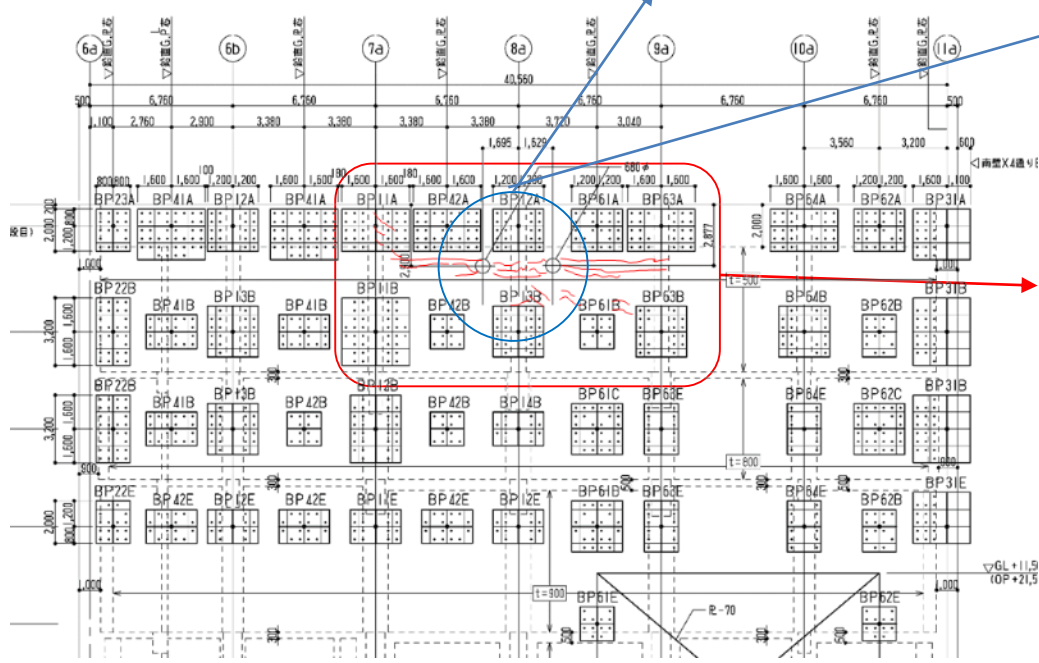
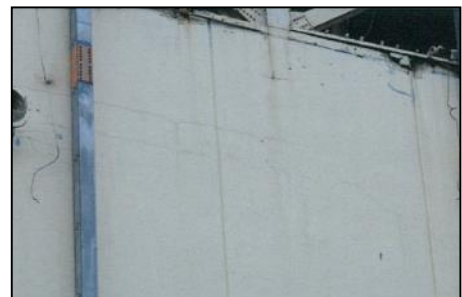
凡例

- :アンカー, BPL先行設置範囲
- :代表調査箇所

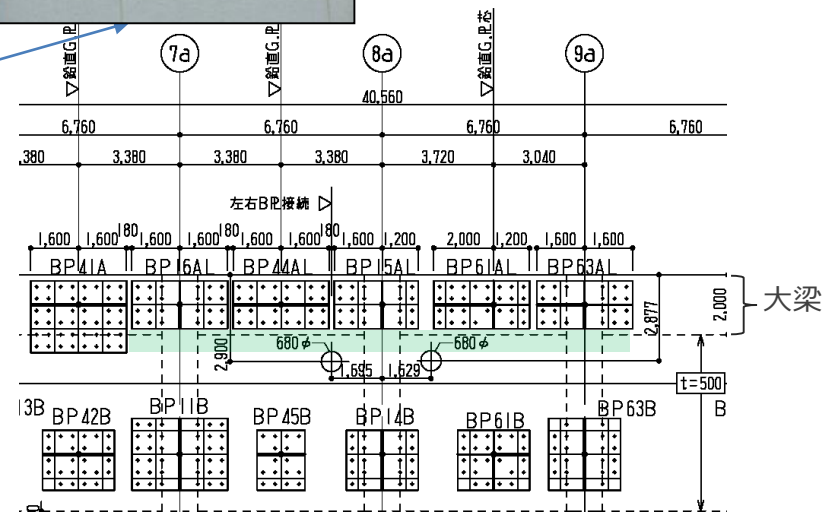
# R/Bへのアンカー設置 (壁の現状とアンカー配置計画)



- 1号機原子炉建屋の今までの確認の結果から、アンカーについては、顕著なひび割れや剥離が確認できる箇所を避ける等の処置を行っている。



R/B西側アンカー設置計画図 (変更前)



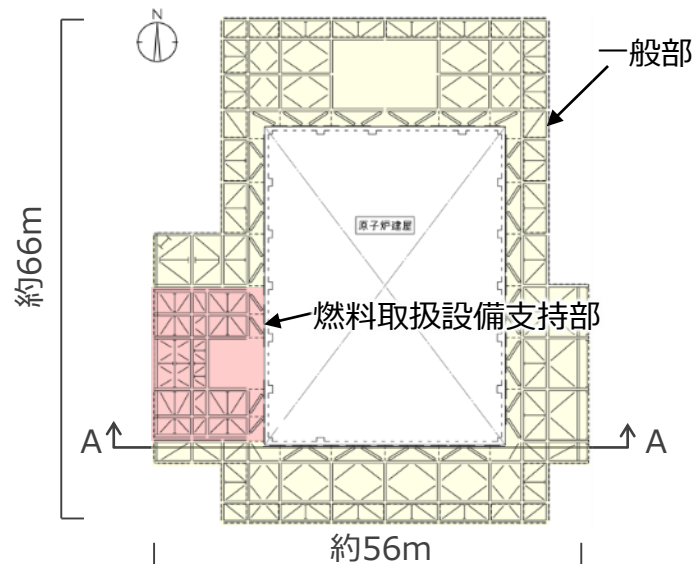
- ◆当該部の設計上の処置
- 1) ひび割れ集中部の外壁アンカーを上部大梁へ集約
  - 2) 大梁部のアンカー長を長くし, 耐力増強
  - 3) 一部のベースプレートでアンカー本数増設

R/B西側アンカー設置計画図 (変更後)

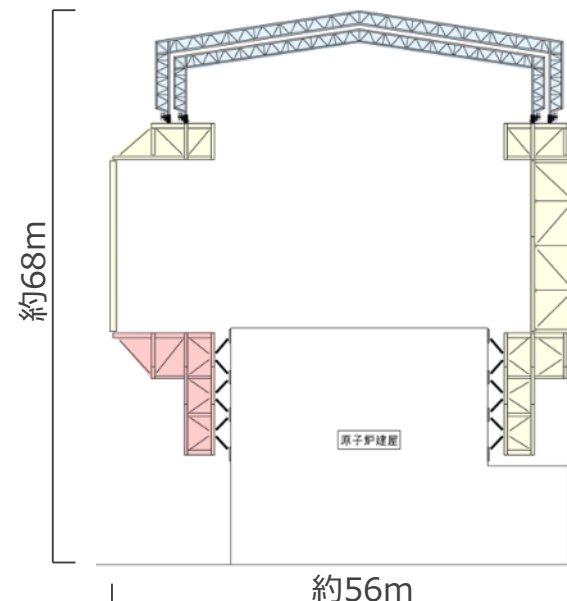
# 大型カバーの設計条件

大型カバーの設計条件は以下の通り

- 大型カバーの一部架構が燃料取扱設備を間接的に支持する構造物であるため、大型カバー全体として建築基準法に定められた地震力の1.5倍を考慮（3，4号機と同様）する。
- 基準地震動 $S_s$ に対する耐震安全性を確認し，原子炉建屋や使用済燃料プール，使用済燃料貯蔵ラックへの波及的影響を防止する。
- ガレキ撤去や使用済燃料プールからの取り出し作業に支障が生じることのない必要最低限の大きさとし，大型カバーの重量を低減する。
- 合理的に可能な限り隙間を低減するとともに，換気設備を設けることにより，カバー内の放射性物質の大気への放出を抑制する。



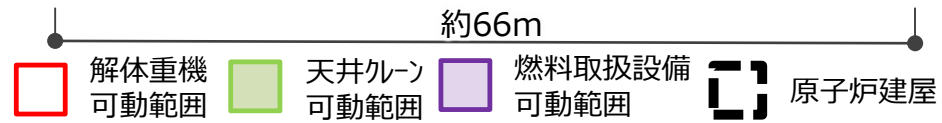
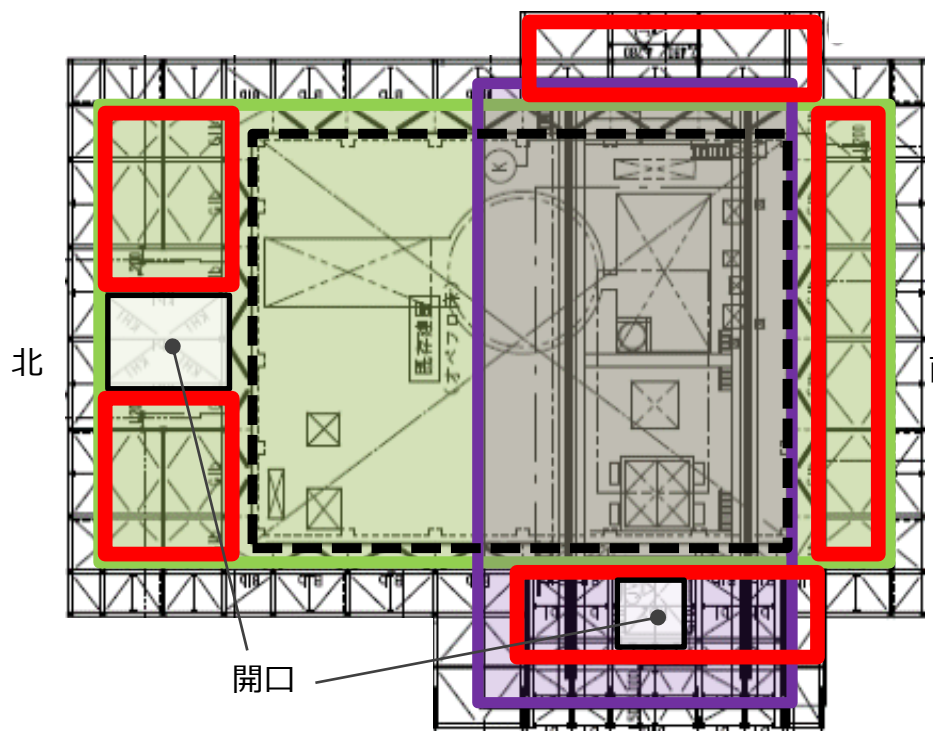
大型カバー平面図 (G.L. +28.3m)



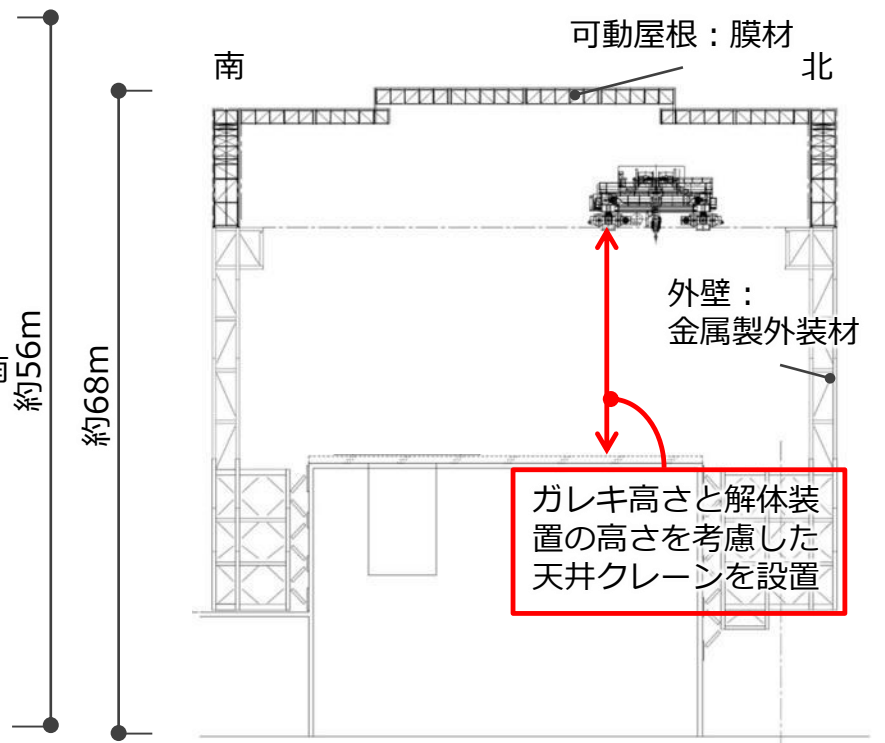
大型カバーA-A断面図

# 大型カバーの検討結果概要（大きさ）

- ガレキ撤去および燃料取り出し作業が可能な面積，高さを確保する。
- 屋根は軽量化を考慮して膜材を採用，外装材は3号機カバーと同様に金属製外装材を採用する。



大型カバー平面図



大型カバー断面図(南北)

# 大型カバーの検討結果概要（自然災害に対する設計）

## ■ 津波

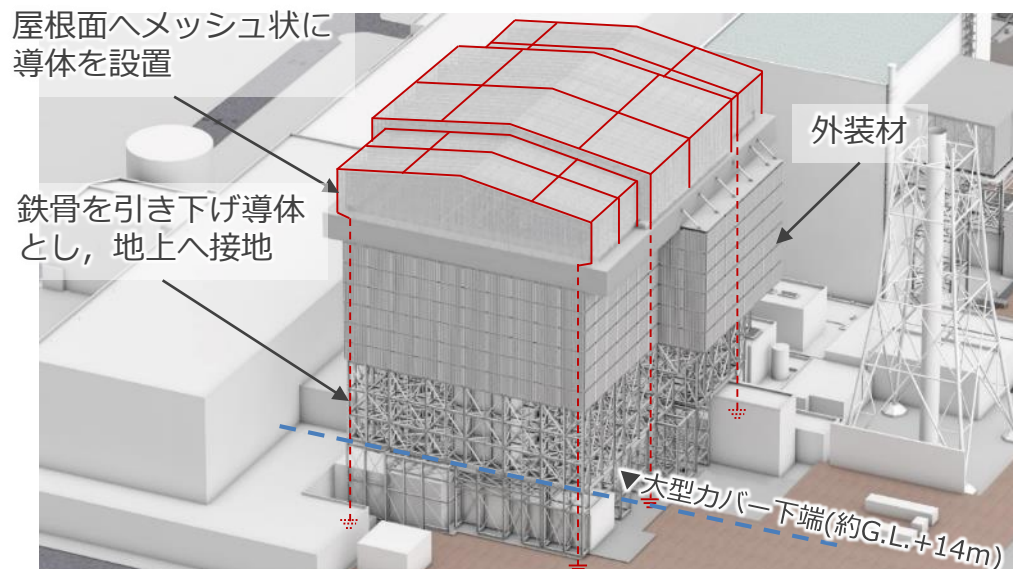
- 東北地方太平洋沖地震津波相当の津波が到達しないと考えられる約G.L.+14m以上に設置する。

## ■ 豪雨, 台風, 竜巻

- 外装材で覆うことにより風雨を遮る設計としており, 30m/sの風圧力に対して耐えられるよう設計を行っている。

## ■ 雷

- 雷に対して周囲に保護する避雷設備がないことから, 大型カバーは建築基準法及び日本産業規格に準じた避雷設備を設置する。



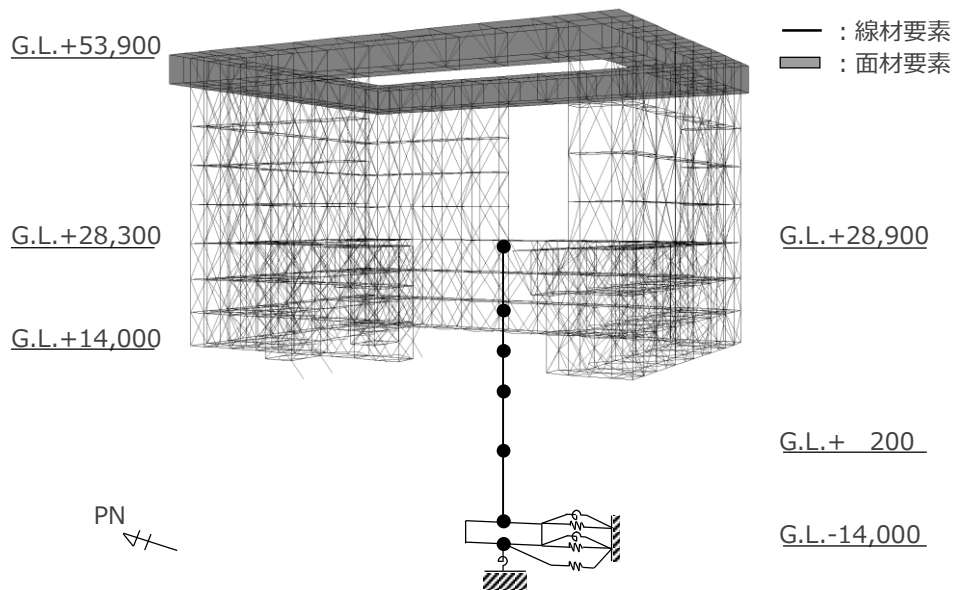
自然災害に対する設計のイメージ

# 大型カバーの構造強度及び耐震性について

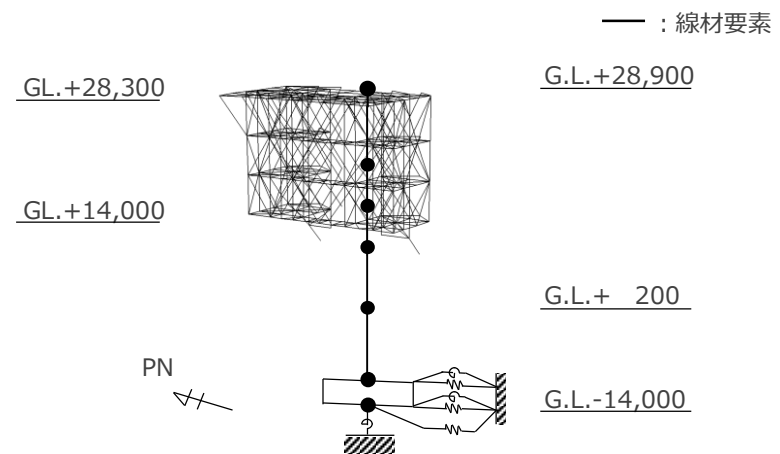
- 大型カバーの評価に当たって、一般部と燃料取扱設備支持部が構造的に分離していることから、モデルを分離して評価する。
- ガレキ撤去時と燃料取り出し時で荷重が異なるため、それぞれ評価する。
- 大型カバー(一般部、燃料取扱設備支持部は別々に)を立体架構モデル、原子炉建屋を質点系モデルとし、それぞれを接続したモデルで基準地震動Ssによる地震応答解析を実施する。



構造強度は問題がなく、また、基準地震動Ssに対しても使用済燃料プールなどへ波及的影響を及ぼさないことを確認済である。



大型カバー一般部の地震応答解析モデル  
(単位：mm)



燃料取扱設備支持部の地震応答解析モデル  
(単位：mm)

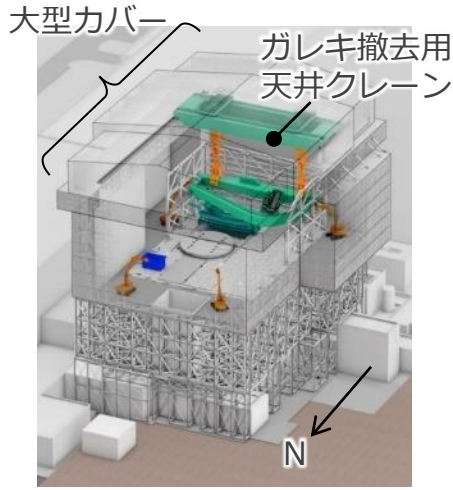
# 大型カバーに作用する荷重について

大型カバーに作用する荷重は、ガレキ撤去時と燃料取り出し時で異なるため、それぞれのSTEPに考慮する荷重は次の通り。

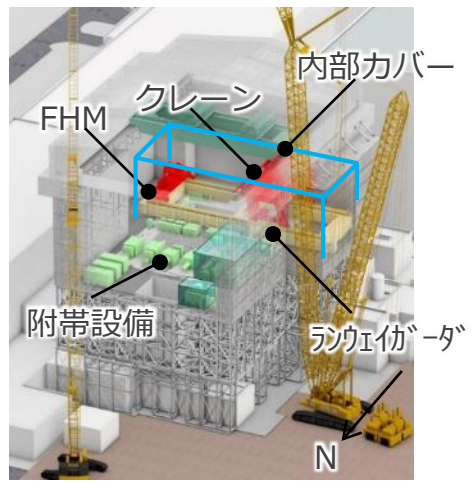
- ガレキ撤去時では、ガレキ撤去用天井クレーン、遠隔解体重機などガレキ撤去に必要な重機、残存しているガレキを荷重として考慮し評価する。
- 燃料取り出し時では、撤去されたガレキを荷重から減らし、その代わりに燃料取扱設備（クレーン、FHMなど）や、遮蔽体などを荷重として考慮し評価する。

主な鉛直荷重

		ガレキ撤去時 (kN)	燃料取り出し時 (kN)
大型カバー側	屋根	3800	3800
	外装材	5800	4360
	遮蔽体	1050	6430
	ガレキ撤去用天井クレーン	4200	4200
	遠隔解体重機	2600	0
	配管荷重	500	830
	小計	17950	19620
原子炉建屋側	残存ガレキ	12130	0
	遮蔽体	0	21110
	機器荷重等	4260	43540
	小計	16390	64650
	参考：原子炉建屋重量	701430	701430



ガレキ撤去時のイメージ



燃料取り出し時のイメージ

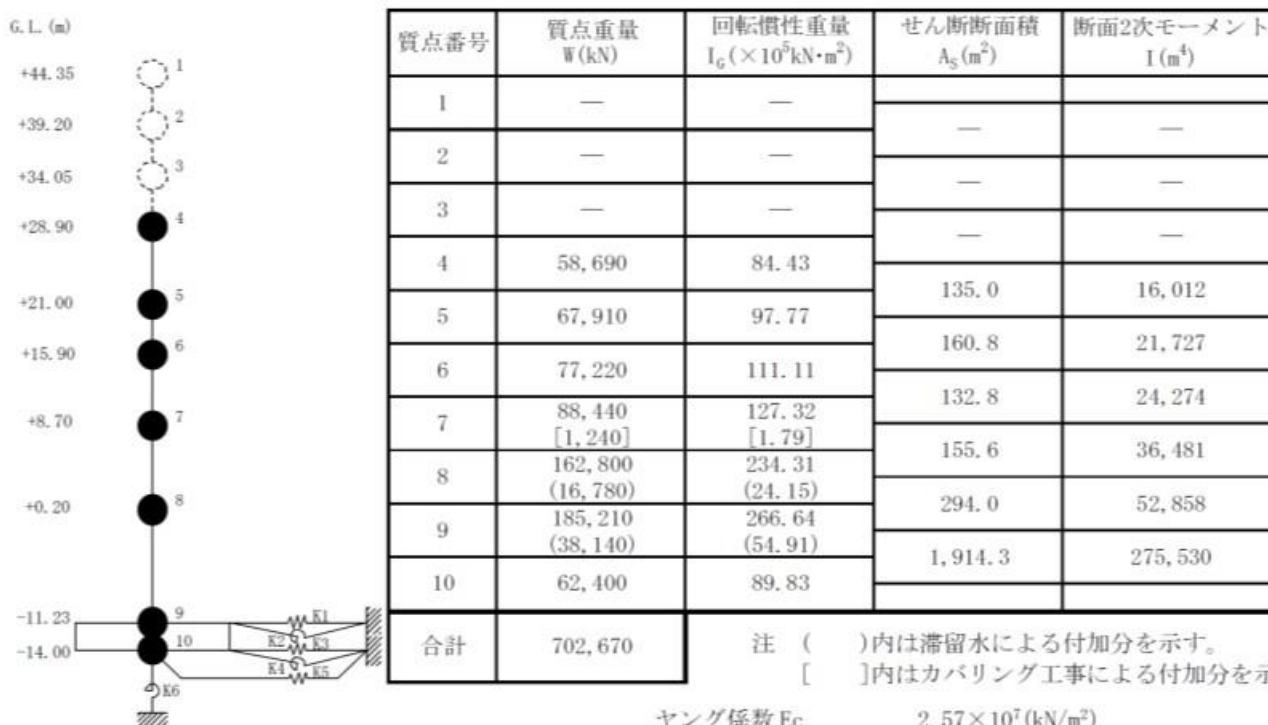
※設計進捗により重量は変更となる場合がある

# 大型カバー等の設置による原子炉建屋への影響検討(1)

## ～滞留水を考慮した地震応答解析モデル～

- 地下滞留水を考慮した原子炉建屋モデルにより，基準地震動Ss及び検討用地震動を用いた耐震評価を実施。
- 建屋関係の諸元は，『福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋』における1号機原子炉建屋のものを利用。

1号機原子炉建屋解析モデルの諸元（NS方向）





# 大型カバー等の設置による原子炉建屋への影響検討(2) ～基準地震動Ss及び検討用地震動による耐震安全性評価～

変更なし

TEPCO

## ■ 評価基準値

耐震安全性の評価に当たっては、建物が構造物全体として変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物の終局耐力に対し、妥当な安全余裕を有していることを確認する観点から、原子炉施設の主たる耐震要素である耐震壁の安全性について評価する。

評価は、検討用地震動による各層の鉄筋コンクリート耐震壁の最大せん断ひずみが、評価基準値（ $4.0 \times 10^{-3}$ ）を超えないことを確認する。

## ■ 耐震安全性評価結果

基準地震動に対する耐震壁のせん断ひずみは、地下滞留水のある地下1階について、最大で $0.09 \times 10^{-3}$ であり、耐震壁の評価基準値（ $4.0 \times 10^{-3}$ ）に対して十分余裕がある。また、検討用地震動に対する耐震壁のせん断ひずみは、最大で $0.16 \times 10^{-3}$ （NS方向、検①）であり、耐震壁の評価基準値（ $4.0 \times 10^{-3}$ ）に対して十分余裕がある。

階	G.L. (m)	NS方向( $\times 10^{-3}$ )				EW方向( $\times 10^{-3}$ )			
		Ss	検①	検②	評価基準	Ss	検①	検②	評価基準
4F	+21.00~28.90	-	0.05	0.03	4.0以下	-	0.06	0.04	4.0以下
3F	+15.90~+21.00		0.08	0.04			0.07	0.05	
2F	+8.70~+15.90		0.14	0.07			0.13	0.08	
1F	+0.20~+8.70		0.16	0.09			0.12	0.07	
B1F	-1.23~+0.20	0.09	0.12	0.08	0.09	0.12	0.06		

# 大型カバー等の設置による原子炉建屋への影響検討(3)

## ～大型カバーの設置を考慮した地震応答解析モデル～

変更なし

TEPCO

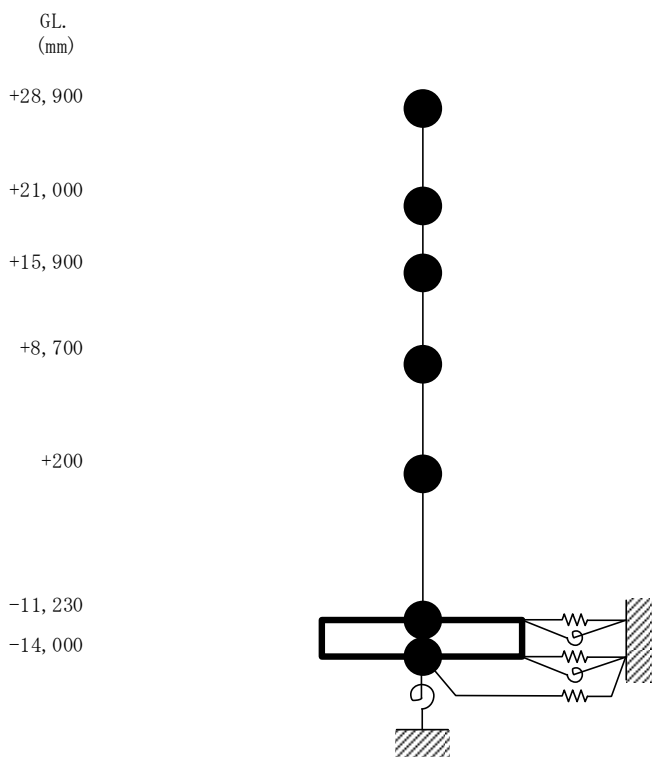
- 大型カバーの設置に伴う原子炉建屋への影響検討を実施するに当たっては、『福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備』の建屋諸元を用いる。

原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元  
(水平方向, ガレキ撤去時)

G.L.(m)	質点重量 W(kN)	回転慣性重量 $I_G$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m $^2$ )	
		水平(NS)方向	水平(EW)方向
+28.90	113830	163.75	93.73
+21.00	81500	117.34	67.09
+15.90	90680	130.48	74.63
+8.70	87510	125.98	125.98
+0.20	162800	234.31	234.31
-11.23	185210	266.64	327.39
-14.00	62400	89.83	110.32
合計	783930		

原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元  
(水平方向, 燃料取り出し時)

G.L.(m)	質点重量 W(kN)	回転慣性重量 $I_G$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m $^2$ )	
		水平(NS)方向	水平(EW)方向
+28.90	161390	232.17	132.90
+21.00	81500	117.34	67.09
+15.90	90670	130.46	74.62
+8.70	88080	126.80	126.80
+0.20	163140	234.80	234.80
-11.23	185210	266.64	327.39
-14.00	62400	89.83	110.32
合計	832390		



1号機原子炉建屋の地震応答解析モデル

# 大型カバー等の設置による原子炉建屋への影響検討(4)

## ～基準地震動Ssによる耐震性評価～

変更なし

TEPCO

### ■ 評価基準値

耐震安全性の評価に当たっては、建物が構造物全体として変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物の終局耐力に対し、妥当な安全余裕を有していることを確認する観点から、原子炉施設の主たる耐震要素である耐震壁の安全性について評価する。

評価は、検討用地震動による各層の鉄筋コンクリート耐震壁の最大せん断ひずみが、評価基準値（ $4.0 \times 10^{-3}$ ）を超えないことを確認する。

### ■ 耐震安全性評価結果

基準地震動に対する耐震壁のせん断ひずみは、地上2階で、最大で $0.18 \times 10^{-3}$ であり、耐震壁の評価基準値（ $4.0 \times 10^{-3}$ ）に対して十分余裕がある。

階	G.L. (m)	N S方向( $\times 10^{-3}$ )			E W方向( $\times 10^{-3}$ )		
		基準地震動Ss		評価基準	基準地震動Ss		評価基準
		ガレキ 撤去時	燃料 取出時		ガレキ 撤去時	燃料 取出時	
4F	+21.00~+28.90	0.07	0.10	4.0以下	0.09	0.13	4.0以下
3F	+15.90~+21.00	0.09	0.11		0.09	0.11	
2F	+8.70~+15.90	0.15	0.17		0.15	0.18	
1F	+0.20~+8.70	0.16	0.18		0.12	0.14	
B1F	-1.23~+0.20	0.11	0.12		0.11	0.12	

## 大型カバー等の設置による原子炉建屋への影響検討(5) ～検討用地震動による原子炉建屋への耐震性影響評価～

- 基準地震動Ssを用いた滞留水を考慮した地震応答解析では、地下1階のせん断ひずみは最大 $0.09 \times 10^{-3}$ であり、また、検討用地震動を入力地震動とした場合には、最大 $0.12 \times 10^{-3}$ であった。
- 以上より、地震動が基準地震動Ssから検討用地震動に変更となると、ひずみは約1.3～1.4倍程度増大すると想定される。
- 一方で、大型カバーを設置した場合における基準地震動Ssによる原子炉建屋の耐震壁の最大せん断ひずみは、 $0.18 \times 10^{-3}$ である。
- 基準地震動から検討用地震動に変更となった際のせん断ひずみの増加比率に余裕を加えて、2倍程度に増大するとしたとしても、大型カバーを設置した場合の原子炉建屋の耐震壁のせん断ひずみは最大で $0.4 \times 10^{-3}$ 程度になると想定され、評価基準値 $4.0 \times 10^{-3}$ を下回る。このため、大型カバーを設置したとしても原子炉建屋の耐震性に大きな影響を与えないと判断している。

# 3, 4号機燃料取り出し用カバーとの比較

- 3, 4号機との主要な比較項目を以下に示す。

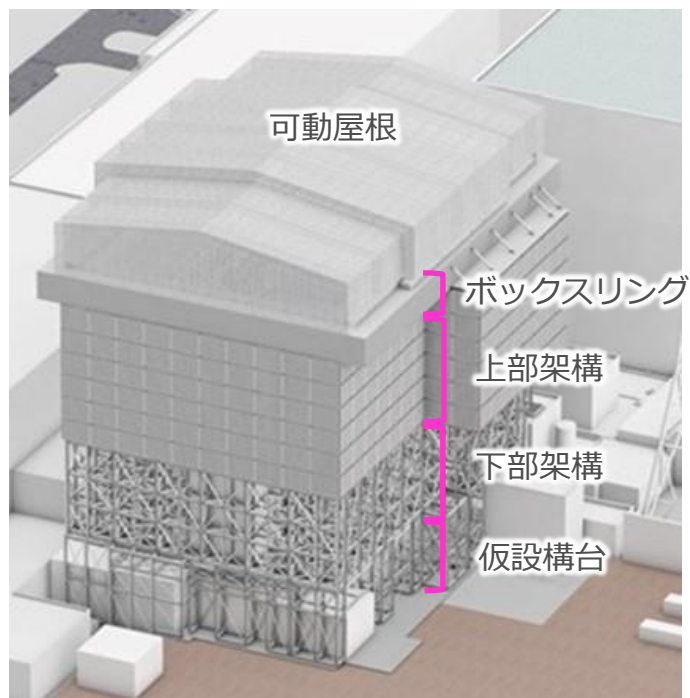
号機	1号機	3号機	4号機
イメージ図			
構造	鉄骨造, トラス構造	鉄骨造, トラス構造	鉄骨造, ラーメン構造
カバーの支持	原子炉建屋外壁に支持	原子炉建屋1階, 3階及び5階に支持	地盤, 原子炉建屋外壁及びシェル壁に支持
屋根	可動式	可動しない	可動しない
外装材	屋根: 膜材 外壁: 金属製外装材	金属製外装材	金属製外装材
カバーに支持する主要設備	ガレキ撤去用天井クレーン (一般部に設置) 燃料取扱機, クレーン (原子炉建屋及び燃料取扱設備支持部に設置)	燃料取扱機, クレーン	燃料取扱機, クレーン

- 現地では、先行して鉄骨の発注及び製作、構外ヤードでの鉄骨部材の地組などを実施している。
- 今後、原子炉建屋に取り付くためのアンカー打設を実施する。

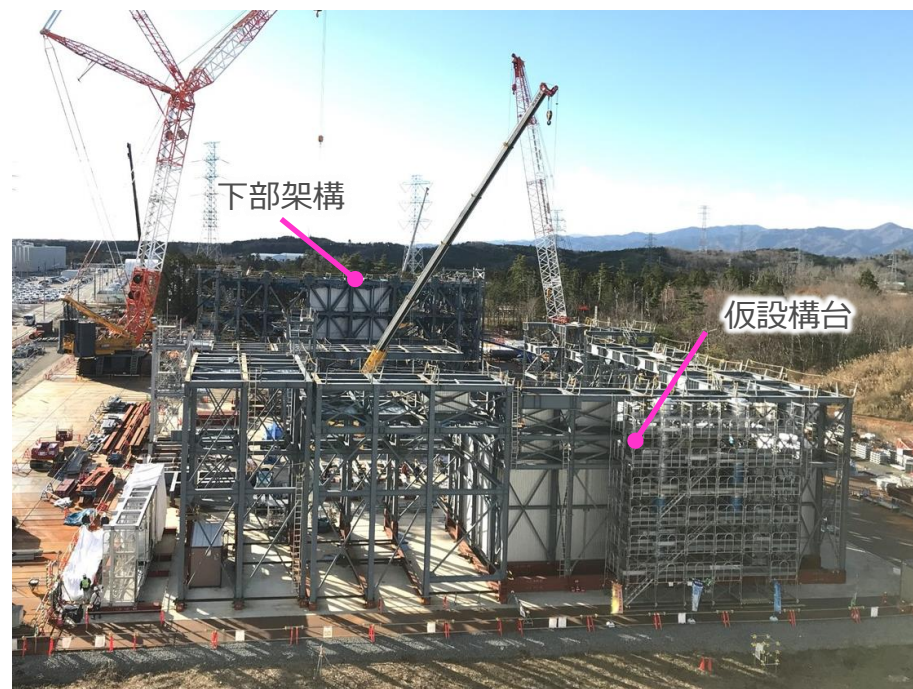
	2021年度												2022年度	2023年度	2024年度			
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3						
中長期RM マイルストーン																		2023年度頃 大型カバー設置完了
実施計画																		
大型カバー設置																		
大型カバー換気設備他 設置																		

# 現場状況

- 2021年4月下旬より大型カバー設置へ向けた、仮設構台の地組などを構外ヤードで実施中。
- 以下フローの通り順次地組を行う。



大型カバー全体の概要図



構外ヤード全景（2021年12月13日時点）

# 措置を講ずべき事項への適合性

- 1号機大型カバー設置に係る実施計画変更認可申請について「特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について（以下、措置を講ずべき事項）」のうち、関連する下記事項に適合する記載箇所及び内容を説明する。

## Ⅱ．設計，設備について措置を講ずべき事項

- 11. 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等
- 12. 作業者の被ばく線量の管理等
- 14. 設計上の考慮
  - ① 準拠規格及び基準
  - ② 自然現象に対する設計上の考慮
  - ④ 火災に対する設計上の考慮
  - ⑤ 環境条件に対する設計上の考慮



# 1 1. 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等

- 措置を講ずべき事項「1 1. 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等」では、以下を求めている。

- 特定原子力施設から大気、海等の環境中へ放出される放射性物質の適切な抑制対策を実施することにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。
- 特に施設内に保管されている発災以降発生した瓦礫や汚染水等による敷地境界における実効線量（施設全体からの放射性物質の追加的放出を含む実効線量の評価値）を、平成25年3月までに1mSv/年未満とすること。

- 変更認可申請では、敷地周辺の放射線防護について以下に記載している。

	実施計画Ⅱ記載箇所	記載内容
本文	2 特定原子力施設の構造及び設備、工事の計画 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 2.11.1.3 設計方針 (3)燃料取り出し用カバー b.放射性物質の飛散・拡散防止	既認可の記載を適用

## 1 2. 作業者の被ばく線量の管理等

- 措置を講ずべき事項「1 2. 作業者の被ばく線量の管理等」では、以下を求めている。

現存被ばく状況での放射線業務従事者の作業性等を考慮して、遮へい、機器の配置、遠隔操作、放射性物質の漏えい防止、換気、除染等、所要の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置を講じることにより、放射線業務従事者が立ち入る場所の線量及び作業に伴う被ばく線量を、達成できる限り低減すること。

- 変更認可申請では、作業者の被ばく線量の管理について以下に記載している。

	実施計画Ⅱ記載箇所	記載内容
本文	2 特定原子力施設の構造及び設備、工事の計画 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 2.11.1.6 自然災害対策等 (6) 被ばく低減対策	既認可の記載を適用

## 1 4. 設計上の考慮 ①準拠規格及び基準

- 措置を講ずべき事項「① 準拠規格及び基準」では、以下を求めている。

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，設計，材料の選定，製作及び検査について，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものであること。

- 変更認可申請では，準拠規格及び基準について以下に記載している。

	実施計画Ⅱ記載箇所	記載内容
本文	2 特定原子力施設の構造及び設備，工事の計画 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 2.11.1.8 構造強度及び耐震性 c. 燃料取り出し用カバー	既認可の記載を適用
添付	2.11 添付資料-4-2 燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書 5. 1号機燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性について	大型カバーの準拠規格及び基準 建築基準法，日本建築学会， 日本電気協会等の規基準類に準拠 していることを記載

## 1 4. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮

■ 措置を講ずべき事項「② 自然現象に対する設計上の考慮」では、以下を求めている。

- 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起した場合は安全上の影響を考慮して、耐震設計上の区分がなされるとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。
- 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。

■ 変更認可申請では、自然現象に対する設計上の考慮について以下に記載している。

	実施計画Ⅱ記載箇所	記載内容
本文	2 特定原子力施設の構造及び設備、工事の計画 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 2.11.1.6 自然災害対策等 (1) 津波 (2) 豪雨、台風、竜巻	既認可の記載を適用
添付	2.11 添付資料-4-2 燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書 5. 1号機燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性について	大型カバーの構造強度評価 建築基準法及び関係法令に基づいた風圧力に対する設計結果を記載

## 1 4. 設計上の考慮 ④ 火災に対する設計上の考慮

- 措置を講ずべき事項「④ 火災に対する設計上の考慮」では、以下を求めている。

火災発生防止、火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて、火災により施設の安全性を損なうことのない設計であること。

- 変更認可申請では、火災に対する設計上の考慮について、以下に記載している。

	実施計画Ⅱ記載箇所	記載内容
本文	2 特定原子力施設の構造及び設備，工事の計画 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 2.11.1.6 自然災害対策等 (4) 火災	既認可の記載を適用

## 1 4. 設計上の考慮 ⑤ 環境条件に対する設計上の考慮

- 措置を講ずべき事項「⑤ 環境条件に対する設計上の考慮」では、以下を求めている。

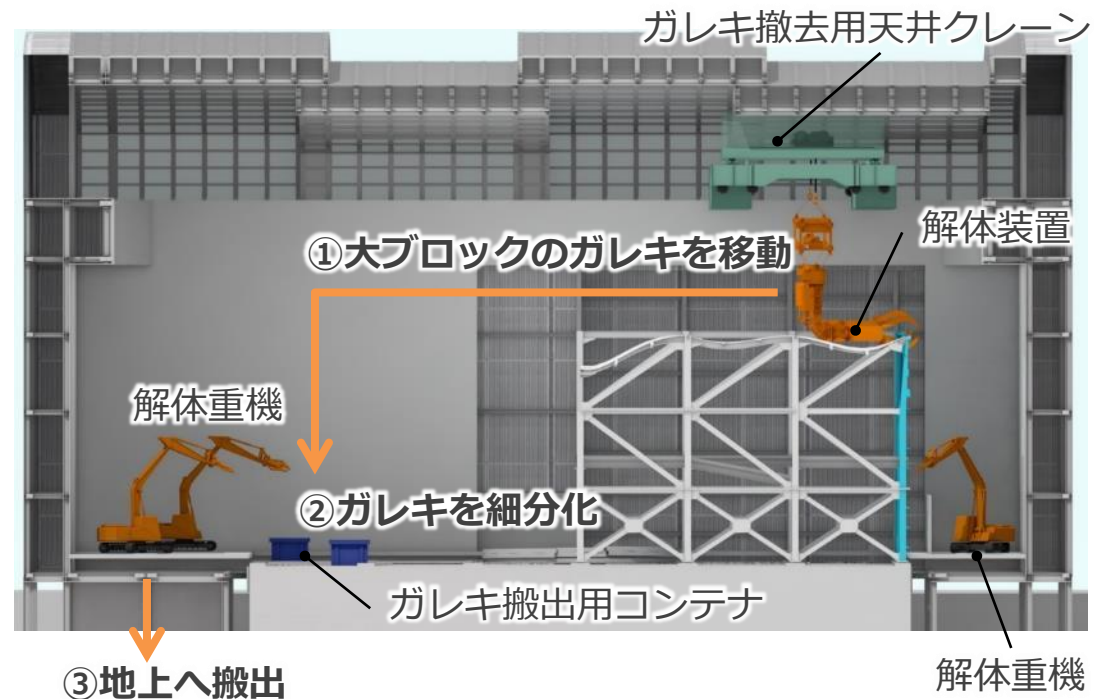
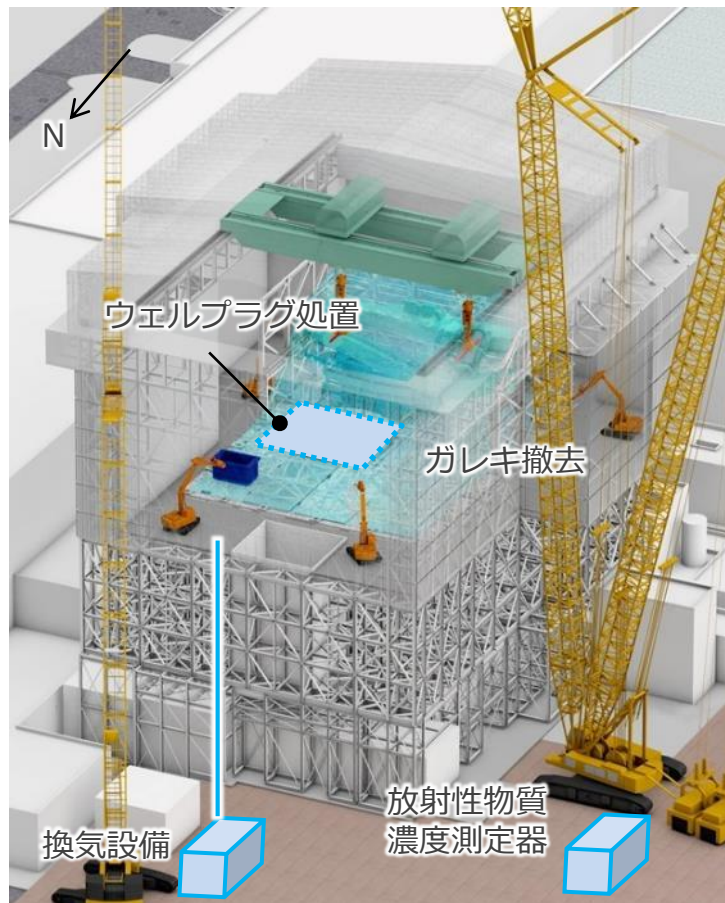
安全機能を有する構築物、系統及び機器は、経年事象を含むすべての環境条件に適合できる設計であること。特に、事故や地震等により被災した建造物の健全性評価を十分に考慮した対策を講じること。

- 変更認可申請では、環境条件に対する設計上の考慮について以下に記載している。

	実施計画Ⅱ記載箇所	記載内容
本文	2 特定原子力施設の構造及び設備，工事の計画 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 2.11.1.6 自然災害対策等 (5) 環境条件	既認可の記載を適用
添付	2.11 添付資料-4-2 燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書 5.3.5 原子炉建屋の耐震性に対する検討	原子炉建屋の健全性 燃料取り出し用カバーの設置を考慮しても耐震性に影響がないことを確認

## 【参考】ガレキ撤去方法について

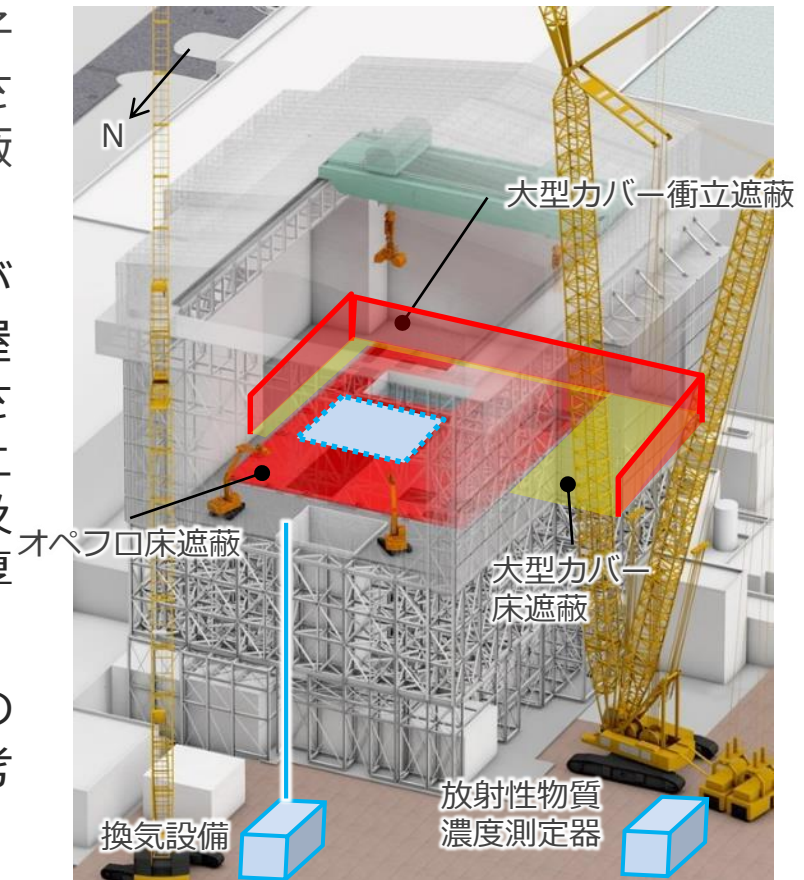
- ガレキ撤去は、大型カバー内でガレキ撤去用天井クレーンや解体重機により実施する。
- ガレキ撤去時に発生するダストは換気設備のフィルタで捕集して排出するとともに、放射性物質濃度測定器により監視する。



※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

## 【参考】除染・遮蔽について

- 燃料取り出し作業を有人で行うため、原子炉からの放射線などによる被ばくを低減させる必要があり、オペフロの除染及び遮蔽を設置する。
- 遮蔽については、オペフロ上の線量が $50\mu\text{Sv/h}$ （目標）になるよう、原子炉建屋オペフロ床に床遮蔽（コンクリート厚さ800mm相当）、大型カバーオペフロより上に衝立遮蔽（鋼板厚さ30~50mm相当）、及び大型カバー床に床遮蔽（コンクリート厚さ260mm相当）を設置する。
- 上記の計画を基に、重量等を大型カバーの燃料取り出し時の地震応答解析モデルに考慮して設計を行っている。

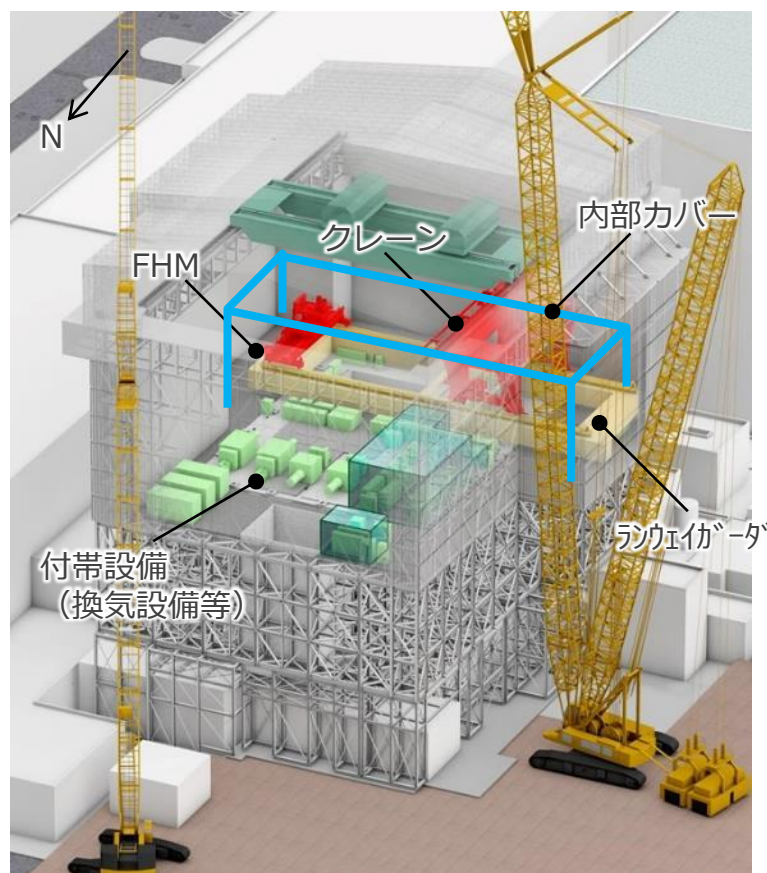


※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある



## 【参考】燃料取り出し方法について

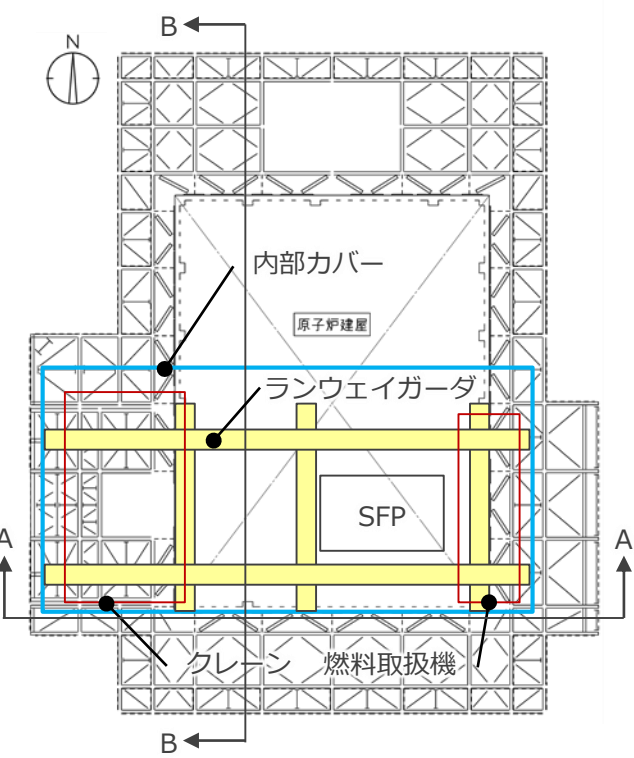
- 燃料取り出しにあたっては、大型カバー内に燃料取扱設備や付帯設備、内部カバー、ランウェイガードを設置する。
- 燃料取扱設備は内部カバー内に、付帯設備は内部カバー外に設置する。
- 燃料取り出しは内部カバー内で有人作業で実施する。



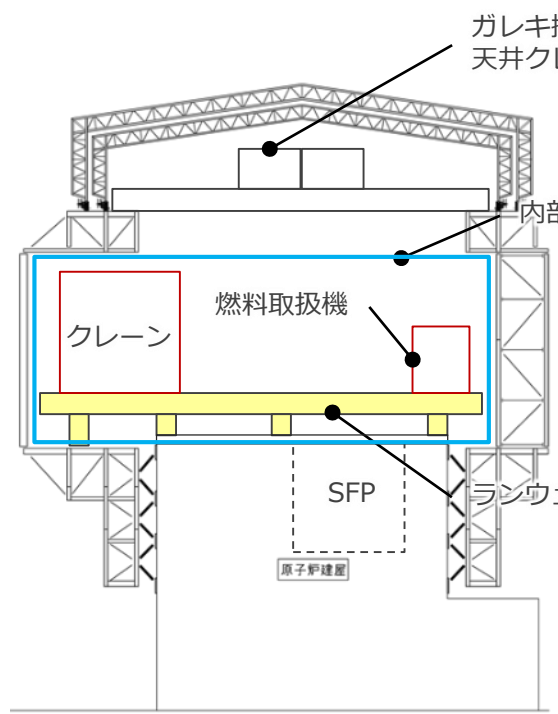
※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

# 【参考】内部カバーについて

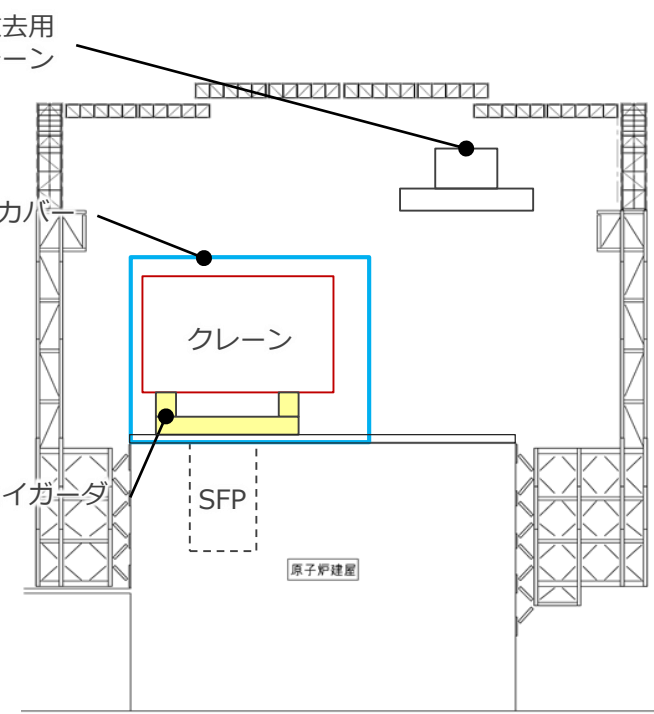
- 大型カバーは、合理的な範囲で隙間を低減するものの、塩分を含む外気や微量な雨水の流入が想定される。
- 燃料取扱設備は屋内仕様であるため、屋内環境を構築するために大型カバー内に内部カバーを設置する。
- 内部カバーは、燃料取扱設備や使用済燃料プールを覆う範囲に設置し、燃料取扱設備や大型カバーに干渉しない大きさとして設計する。



大型カバー平面図 (G.L. +28.3m)



A-A断面図



B-B断面図

# 添付資料

## ■ 補足説明資料

- 添付資料1 大型カバー 補足説明資料
- 添付資料2 1号機大型カバーに対する1/2Ss450評価について
- 添付資料3 1号機使用済み燃料取り出し設備  
放出シナリオに対する線量影響について
- 添付資料4 アンカー削孔欠損を考慮したR/B外壁部の評価について