

福島第一原子力発電所における地すべりの可能性について

コメント回答

耐震重要施設の周辺斜面の対応について

TEPCO

2023年12月26日
東京電力ホールディングス株式会社

コメントリスト

| No. | 実施日 | 指摘事項 | 回答内容 |
|-----|-------------------|---|---|
| 1 | 2022.9.20 面談 | 福島第一原子力発電所における地すべりの可能性 <ul style="list-style-type: none"> ・第94回特定原子力監視・評価検討会資料3-2のDタンクエリアのボーリング柱状図等から、段丘堆積物直下にN値が大きく下がる箇所が複数箇所存在すること ・過去の地震時にDタンクエリアのタンクが他のタンクエリアと異なり有意な滑動が生じていること ・以上のことから、コメントNo.2における調査結果等も考慮した上で、福島第一原子力発電所における地すべりの可能性について見解を示すこと | 【2022.12.7 技術会合】 <ul style="list-style-type: none"> ・敷地内の既往のボーリング調査結果を再整理し、段丘堆積物直下の風化部の分布状況を整理した。 |
| 2 | 2022.9.20 面談 | 福島第一原子力発電所敷地南側の地すべり地形の可能性 <ul style="list-style-type: none"> ・8月23日の面談資料のボーリング柱状図14箇所のうち約半数の箇所で段丘堆積物直下にN値が大きく下がる強風化部が存在すること、また、それらは孔口標高が高い箇所（約30m）に集中していること。 ・国土地理院の地図を見る限りにおいて、福島第一原子力発電所付近に地すべり地形と思われる箇所が複数箇所存在すること。また、それら地形は8月23日の面談で東京電力が示した見解「高さが異なる段丘面」とは形状が異なること。 ・以上のことから、再度、各種調査等を踏まえ、福島第一原子力発電所南側の地形について見解を示すこと | 【2022.12.7 技術会合】 <ul style="list-style-type: none"> ・既往の空中写真判読図により、指摘された箇所の地形について、当時の当社の見解を説明した。 ・「地すべり地形と思われる」と指摘された複数箇所について、空中写真の再判読等を実施した結果を報告した。 |
| 3 | 2022.12.7 技術会合 | 段丘堆積物直下の風化部の分布状況の検討を進め、既往のボーリング調査結果から富岡層風化部を読み取り、敷地内の分布状況を把握し、これを反映した地質平面図・断面図を作成する（東電）。 | 【2023.4.25技術会合】 <ul style="list-style-type: none"> ・汀線平行方向地質断面図および汀線直交方向地質断面図を作成し、風化部の分布状況を示した。 |
| 4 | 2022.12.7 技術会合 | 富岡層風化部の介在による地盤の地震時応答への影響を検討する（東電）。 | 【2023.4.25技術会合】 <ul style="list-style-type: none"> ・地盤の地震応答解析結果から、風化部の介在が施設の耐震評価、基礎地盤の安定性評価に影響を与えないことを確認した。 |
| 5 | 2022.12.7 技術会合 | コメントNo.4の検討の結果、風化部の介在による地盤安定性への影響の可能性が認められる場合は、ボーリング調査と室内試験を行い、風化部の物性を評価し、今後の基礎地盤の安定性評価への適用の必要性を検討する（東電）。ボーリング調査の計画ができれば、報告すること（規制庁）。 | 【2023.4.25技術会合】 <ul style="list-style-type: none"> ・ボーリング調査および室内試験の計画を策定し報告した。 |
| 6 | 2022.12.7 技術会合 | 大規模な地すべり跡が見られないという東電の見解について、当該検討に資する情報をより充実しうる観点から、同様の地形を有する南相馬市塚原地区・楡葉町下小埸地区についても地形判読を実施すること（規制庁）。 | 【2023.4.25技術会合】 <ul style="list-style-type: none"> ・追加2地点の地形判読結果から、規模の大きな地すべり地形は認められないことを報告した。 |

コメントリスト

| No. | 実施日 | 指摘事項 | 回答内容 |
|-----|-------------------|--|---|
| 7 | 2022.12.7 技術会合 | 重要施設等周辺の斜面安定性に関して、Ss900 を用いた検討を実施すること。なお、現在の1Fの特徴を踏まえて、評価対象とする重要施設等を選定すること（規制庁）。 | 本件（福島第一原子力発電所における地すべりの可能性について）とは別途、各耐震重要施設への周辺斜面による波及影響として検討する。 |
| 8 | 2023.4.25 技術会合 | コメントリストのNo.7について、まずは、どこが弱いかわかり、スケジュールを含めて説明してほしい（規制庁）。 | 【2023.6.19技術会合】 運用補助共用施設背後斜面の対応方針を説明した。 |
| 9 | 2023.4.25 技術会合 | 東京電力の資料の中に、タンクの滑動に対して要因分析を行い、恒久的な対策を検討することある。要因分析の内容を示してほしい。また、3.16地震の時に鉛直が水平より非常に大きかったことに対する見解を教えてください（規制庁）。 | 本件（福島第一原子力発電所における地すべりの可能性について）とは別途、技術会合、面談等において報告する。 |
| 10 | 2023.4.25 技術会合 | ボーリング調査・室内試験結果について、引き続き、技術会合にて確認していく（規制庁）。 | ボーリング調査、室内試験実施後、風化部物性の検討を行い、結果を報告する。 |
| 11 | 2023.6.19 技術会合 | 滞留水を貯留しているプロセス主建屋と高温焼却炉建屋（HTI建屋）については、評価対象の施設に追加して選定すること。評価対象施設の抽出課程をわかるように示すこと（規制庁）。 | 今回、本資料により報告 |
| 12 | 2023.6.19 技術会合 | 共用プールから使用済み燃料がなくなる時期が見通せない中で、何らかの合理的な対策を検討すべきと考える。対策工事にも軽重様々ある。今後、具体的にどのような対策工事を、どのような考え方に基づいて行うのか、技術会合で議論していきたい（規制庁）。 | 今回、本資料により報告 |

1. 各施設の周辺斜面の対応方針
2. 斜面对策実施箇所を選定方法
3. 評価対象施設を選定
4. 評価対象斜面の抽出
5. 斜面对策工の検討
6. 施設の供用期間

1. 各施設の周辺斜面の対応方針

- 耐震重要施設の周辺斜面の対応については、地震・津波による放射性物質の追加放出リスクを効率的・現実的に、かつ、できるかぎり早期に低減するため、福島第一原子力発電所の全体のリスク低減活動への影響等を踏まえ、総合的なリスク低減の観点から斜面对策工事の要否を判断していく。具体的には以下のとおり。

○運用補助共用施設（共用プール建屋）：

原子炉建屋から共用プールへの燃料取り出しを2031年内に完了し、その後、共用プール燃料の高台での乾式保管を実施していく計画。施設は比較的長期間供用する必要があるため、施設西側斜面の**斜面对策工事（セットバック工事）を実施**し、早期のリスク低減を図る。

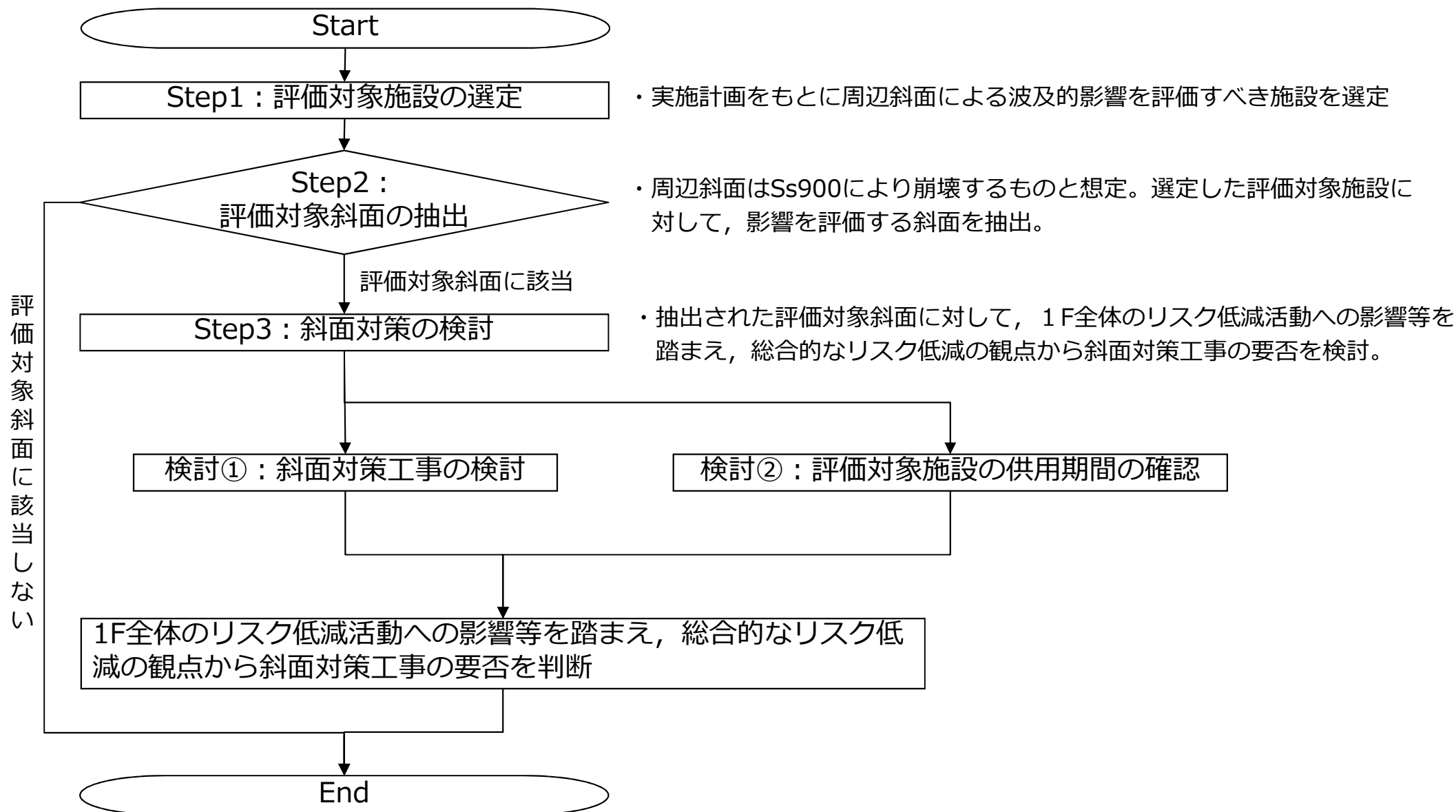
なお、斜面对策工事は、工事の支障となる既設設備の移設工事を含め、約10年程度を見込んでいるが、なるべく早期に完了できるよう検討を進める。

○プロセス主建屋および高温焼却炉建屋：

最地下階に存在する高線量のゼオライト土嚢等を回収したうえで、建屋の滞留水の水位低下を開始し、2020年代後半を目途に建屋床面を露出させる計画。よって、滞留水漏えい等のリスクを有する期間が比較的短期間であることから、**計画どおり建屋内滞留水の水位を下げ床面を露出させる**ことで、早期のリスク低減を図る。

2. 斜面对策実施箇所の選定方法

- 耐震重要施設の周辺斜面对策については、以下のフローに基づき実施箇所を選定する。



3. 評価対象施設の選定

3.1. 実施計画において地震への対応の対象とされている建屋

実施計画Ⅲ

1.3 地震及び津波への対応

1.3.1 地震への対応

1.3.1.1 機器の対応

原子炉圧力容器・格納容器注水設備，原子炉格納容器内窒素封入設備，使用済燃料プール設備，原子炉圧力容器・格納容器ホウ酸水注入設備，汚染水処理設備等及び電気系統設備は，地震により想定されるリスクを評価しており，機能喪失時の代替手段を定めている。

1.3.1.2 建屋の対応

対象設備は，**燃料を内包する建屋**（1～6号機原子炉建屋，運用補助共用施設共用プール棟）及び**地下に滞留水を貯留する建屋**（1～4号機原子炉建屋，1～4号機タービン建屋，1～4号機廃棄物処理建屋，1～4号機コントロール建屋，プロセス主建屋，高温焼却炉建屋）とする。

上記より，地震への対応の対象とされている建屋は周辺斜面による波及的影響を評価する。

- ① 1号機原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋，コントロール建屋
- ② 2号機原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋，コントロール建屋
- ③ 3号機原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋，コントロール建屋
- ④ 4号機原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋，コントロール建屋
- ⑤ 5号機原子炉建屋
- ⑥ 6号機原子炉建屋
- ⑦ 運用補助共用施設
- ⑧ プロセス主建屋
- ⑨ 高温焼却炉建屋

3. 評価対象施設の選定

3.2. その他の現在供用中の耐震重要施設（Ss時の間接支持機能が要求される建屋を含む）

- ①使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）
- ②使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第四施設）
- ③使用済燃料乾式キャスク仮保管設備

3. 評価対象施設の選定

3.3. 評価対象施設の選定結果

➤ 周辺斜面による波及的影響を評価すべき施設を選定した結果は以下のとおり。

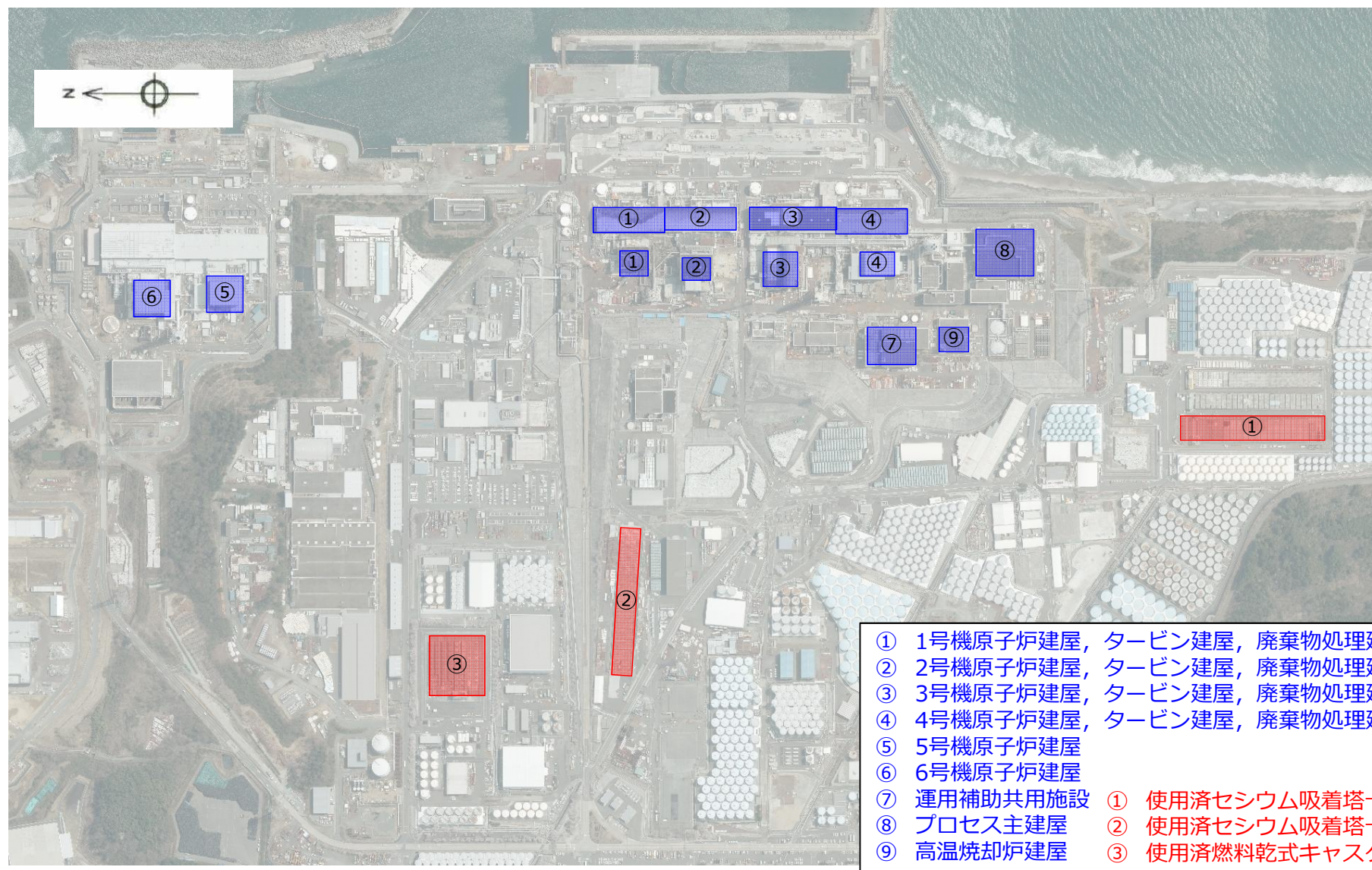
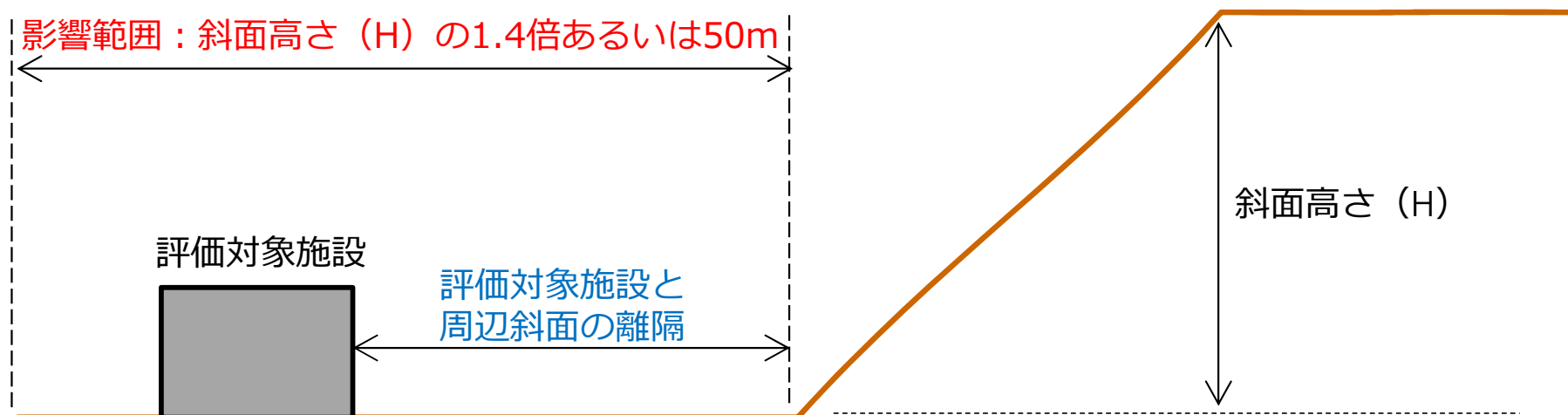


図 周辺斜面による波及的影響を考慮すべき施設

4. 評価対象斜面の抽出

4.1. 評価対象斜面の抽出方法

- Ss900galによって周辺斜面は崩壊するものと想定し、JEAG4601により、斜面崩壊によって影響が及ぶ可能性のある範囲（以下、「影響範囲」という。）を設定。
- 評価対象施設と周辺斜面の離隔が影響範囲未満の場合は、当該周辺斜面を評価対象斜面として抽出。



JEAG4601-2021 原子力発電所耐震設計技術指針

3.2.2.2 評価対象断面の選定

基礎地盤の評価対象断面は、地形、地質、地盤等の状況を考慮して選定する。

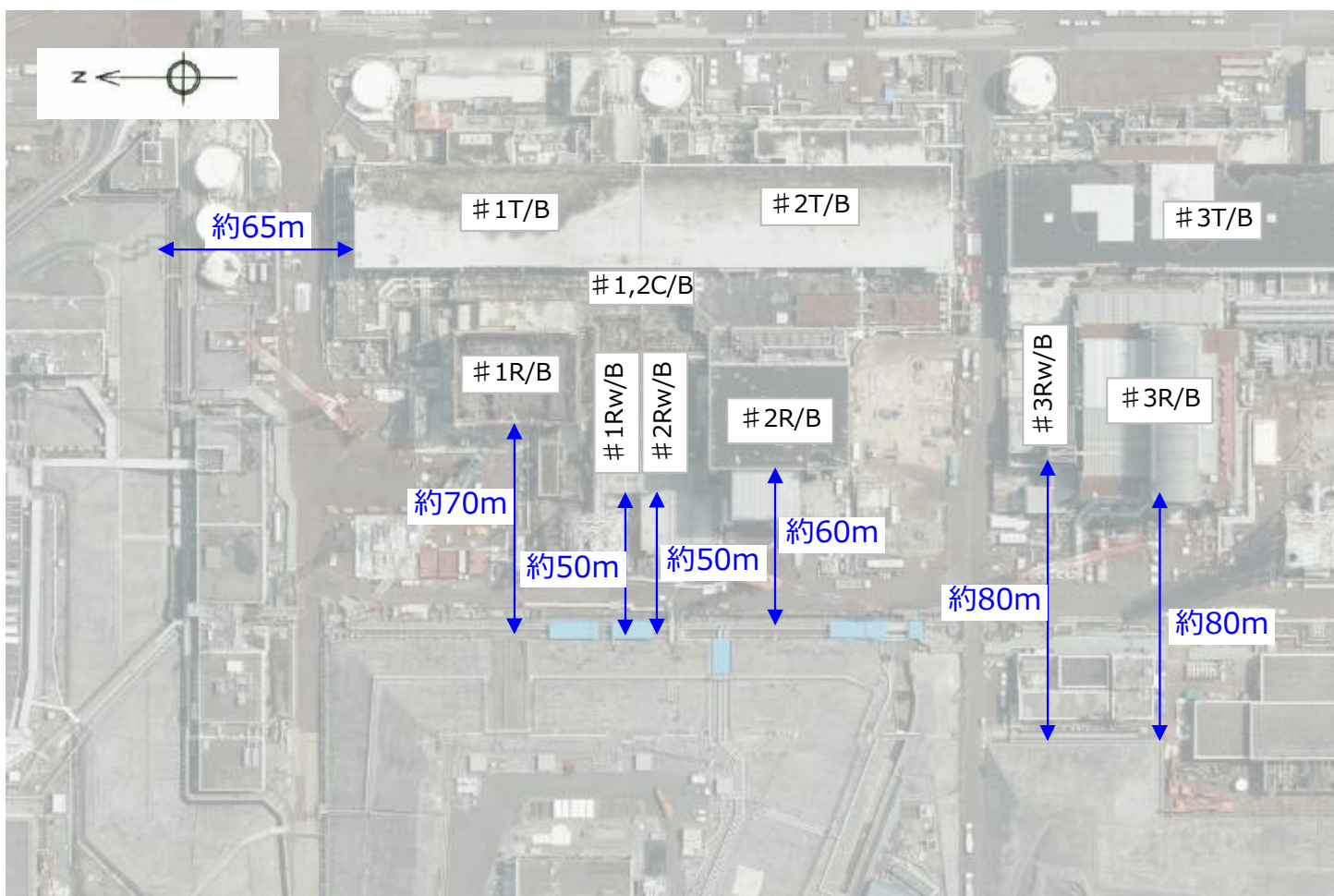
なお、原子炉建屋については、炉心を通る断面を基本とする。

周辺斜面の評価対象断面は、斜面法尻から耐震重要施設等との離間距離が、約50m以内あるいは斜面高さの約1.4倍以内の斜面のうち、斜面高さ、斜面勾配、風化岩の厚さ及びすべりの方向を考慮し、適切に選定する。

4. 評価対象斜面の抽出

4.2. 評価対象斜面の抽出結果（1～3号機周辺）

- 評価対象施設と周辺斜面の離隔が**影響範囲以上**であるため、評価対象斜面はない。



周辺斜面の斜面高さは約24m
→「影響範囲」は周辺斜面法尻
から50mと設定。
($24\text{m} \times 1.4 = 34\text{m}$)

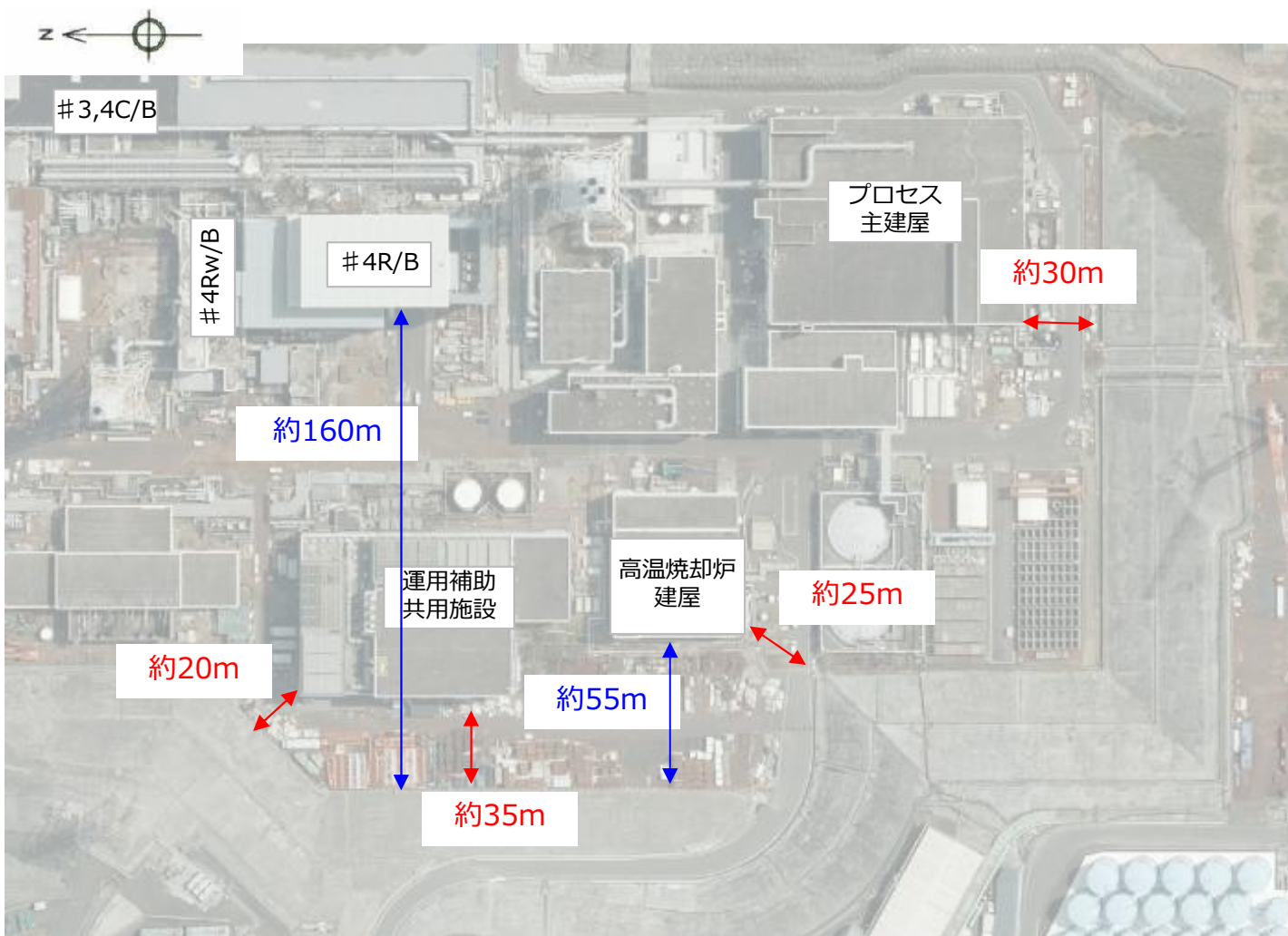
【凡例】

青字：50m以上の離隔
赤字：50m未満の離隔

4. 評価対象斜面の抽出

4.2. 評価対象斜面の抽出結果（4号機周辺）

- 評価対象施設と周辺斜面の離隔が**影響範囲未満**である**運用補助共用施設**、**高温焼却炉建屋**、**プロセス主建屋**の周辺斜面を評価対象斜面として抽出。
- その他の評価対象施設は周辺斜面との離隔が**影響範囲以上**であるため、評価対象斜面はない。



周辺斜面の斜面高さは約24m
→「影響範囲」は周辺斜面法尻から50mと設定。
($24\text{m} \times 1.4 = 34\text{m}$)

【凡例】

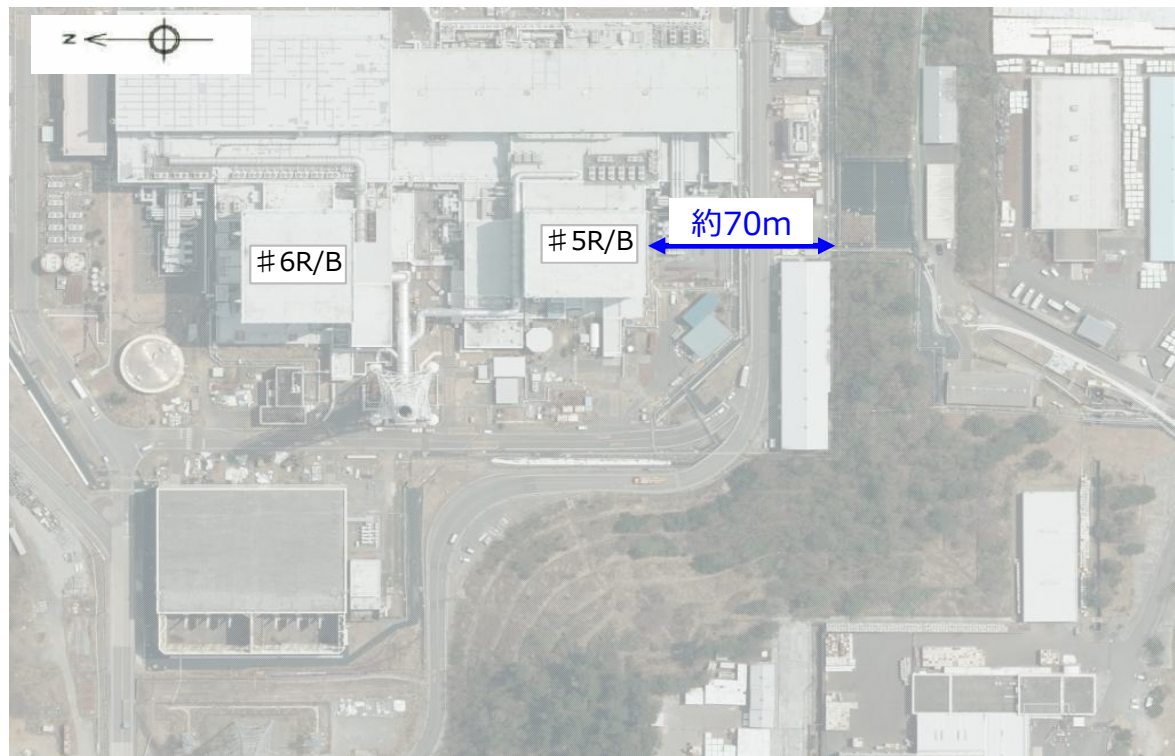
青字：50m以上の離隔

赤字：50m未満の離隔

4. 評価対象斜面の抽出

4.2. 評価対象斜面の抽出結果（5 / 6号機周辺）

- 評価対象施設と周辺斜面の離隔が**影響範囲以上**であるため、評価対象斜面はない。



周辺斜面の斜面高さは約30m
→「影響範囲」は周辺斜面法尻
から50mと設定。
($30\text{m} \times 1.4 = 42\text{m}$)

【凡例】

青字：50m以上の離隔

赤字：50m未満の離隔

4.2. 評価対象斜面の抽出結果（その他の現在供用中の耐震重要施設）

- その他の現在供用の耐震重要施設の周辺に斜面はない。

4. 評価対象斜面の抽出

4.3. 評価対象斜面の抽出結果のまとめ

- 下図に示す⑦運用補助共用施設, ⑧プロセス主建屋, ⑨高温焼却炉建屋の周辺斜面を評価対象斜面として抽出。

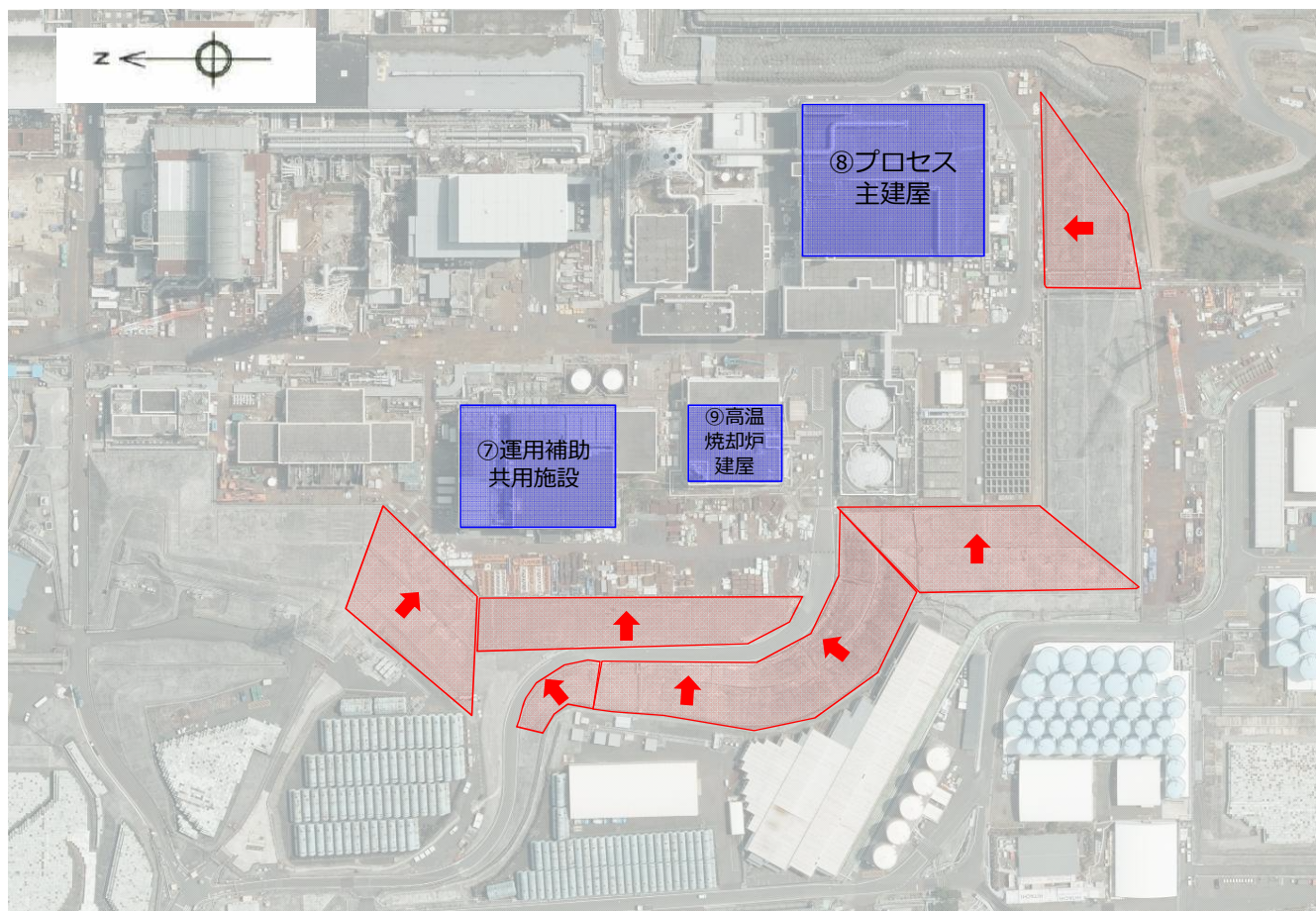


図 施設-周辺斜面平面図

※⑧プロセス主建屋, ⑨高温焼却炉建屋については, 各施設の供用期間を考慮し, 斜面对策工事は実施しないことにした。

5. 斜面对策工の検討

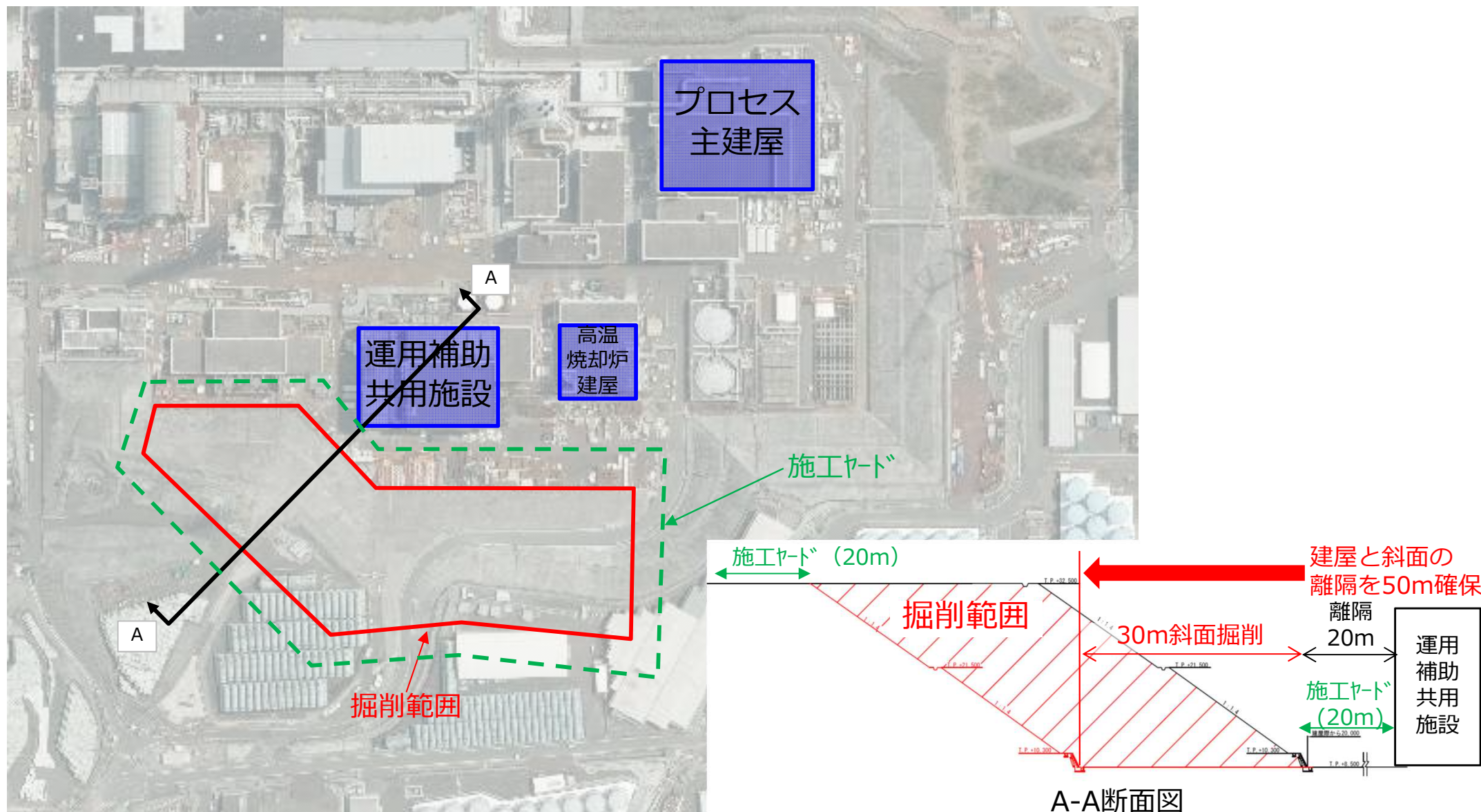
5.1. 斜面对策工事の工法

- 斜面对策工事は、耐震重要施設と斜面との離隔を50m確保するために、斜面セットバック工事を計画。

| 斜面セットバック工事 | |
|------------|---|
| 工事イメージ図 | <p>現在の地表面</p> <p>掘削範囲</p> <p>30m斜面掘削</p> <p>離隔20m</p> <p>耐震重要施設</p> <p>建屋と斜面の離隔を50m確保</p> |
| 関連工事 | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 斜面セットバック工事の支障となる設備の撤去・移設工事 |

5. 斜面对策工の検討

5.2. 斜面セットバック工事の概要

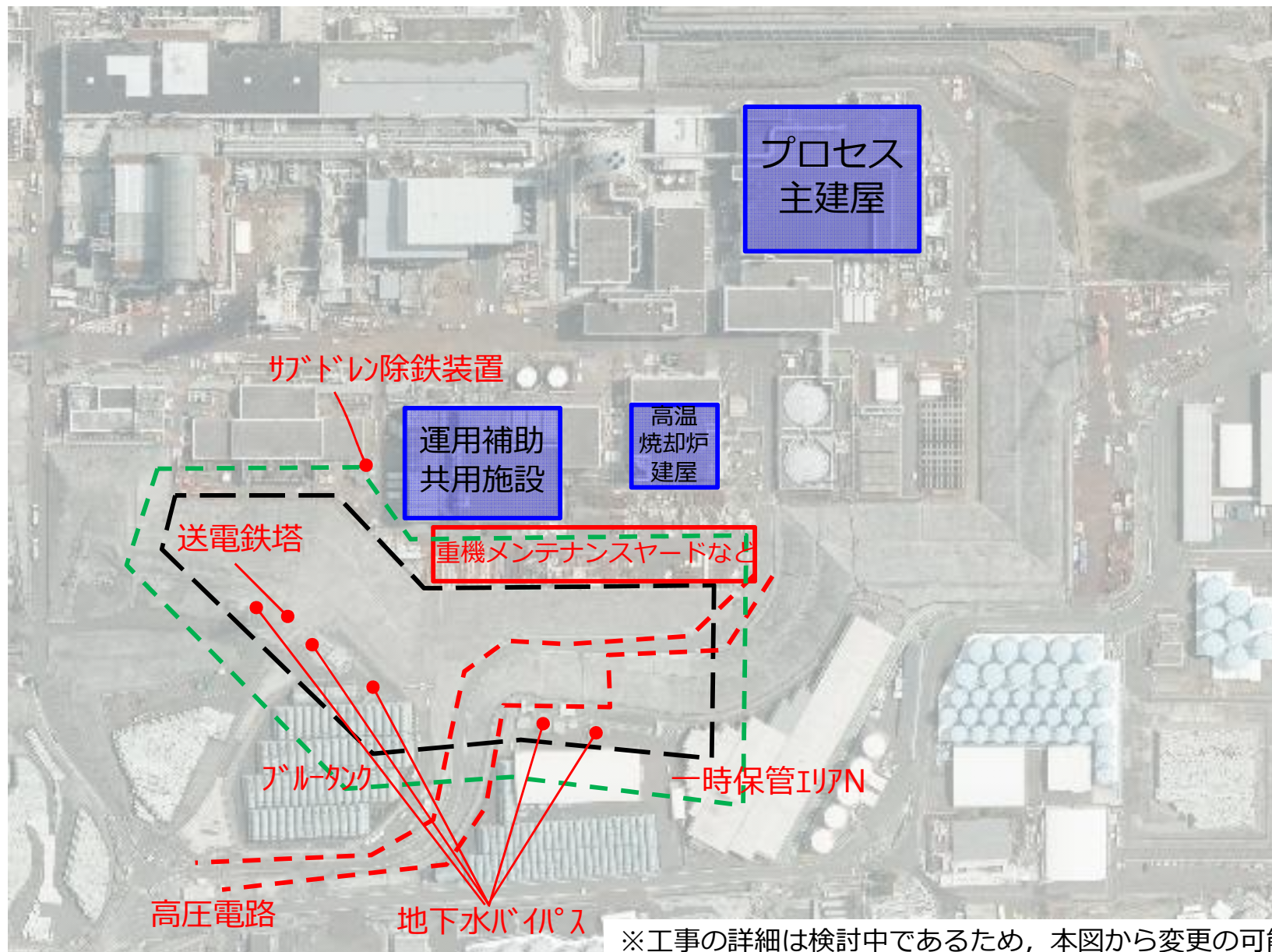


※工事の詳細は検討中であるため、本図から変更の可能性がある。

5. 斜面对策工の検討

5.3. 斜面对策工事において支障となる設備

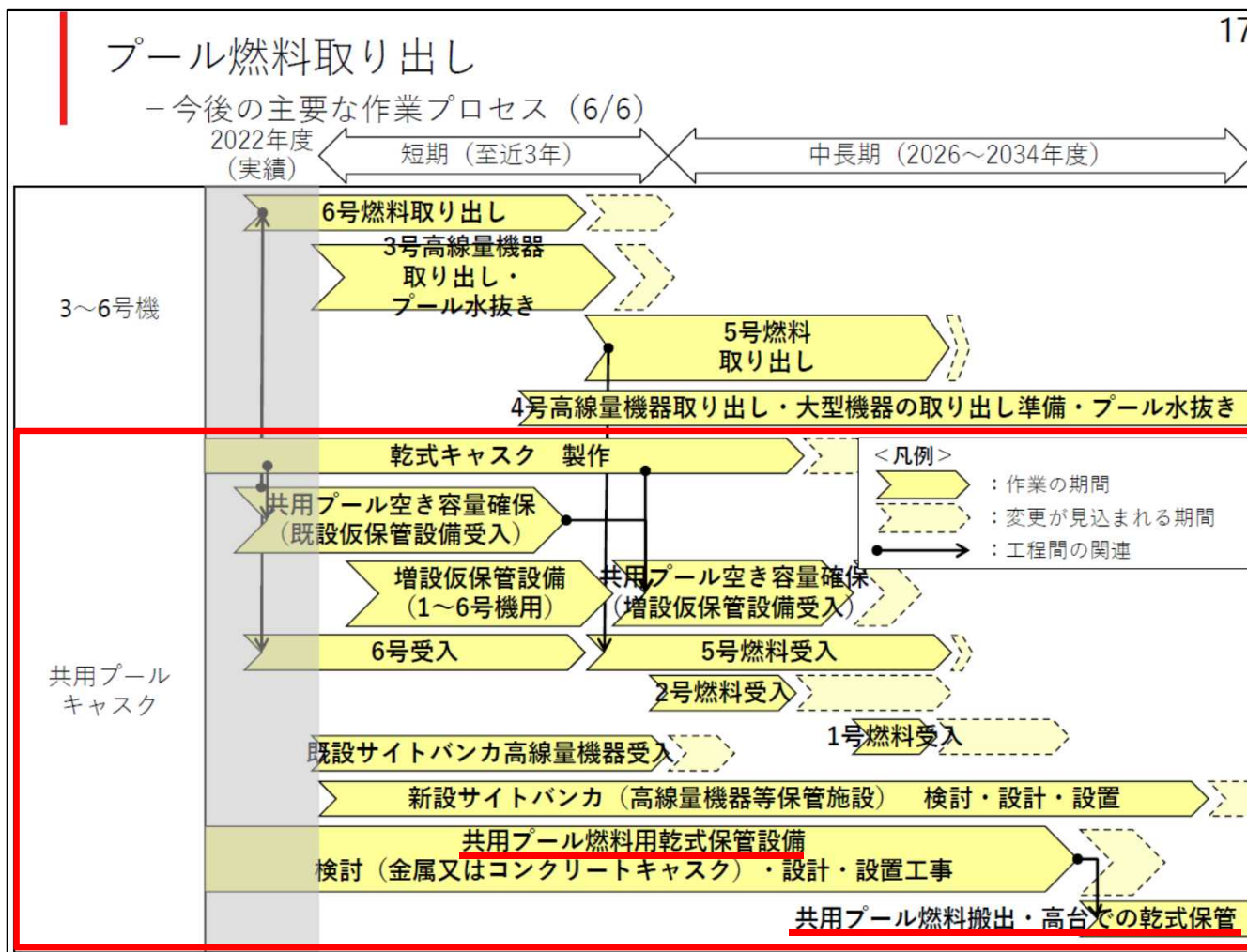
- 斜面对策工事の実施に先立ち、工事の支障となる以下の設備の撤去・移設工事が必要。



6. 施設の供用期間

6.1. 運用補助共用施設

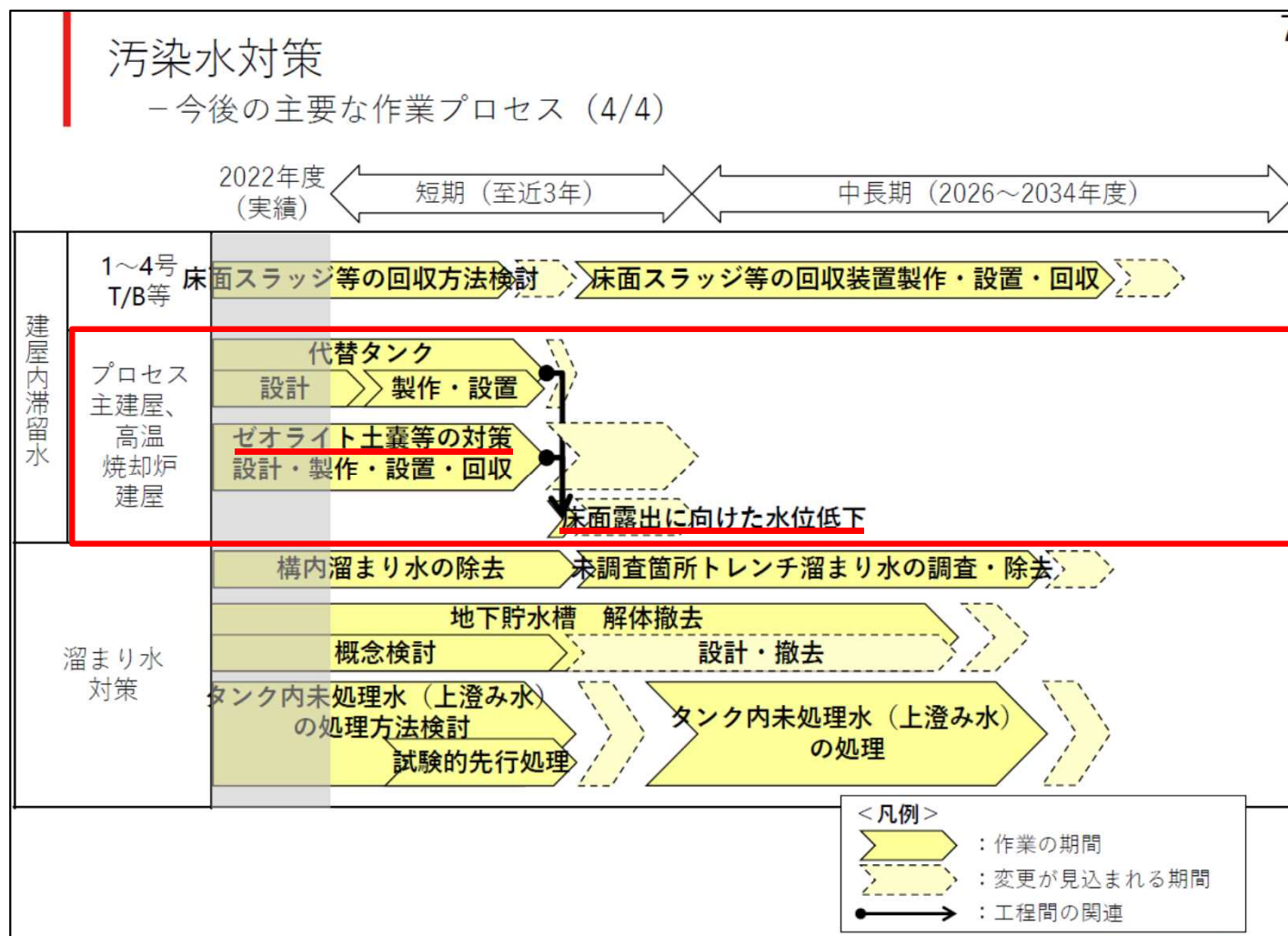
- プール燃料取り出しの今後の主要な作業プロセスと工程は、「廃炉中長期実行プラン2023」より、以下のとおり。
- 原子炉建屋から共用プールへの燃料取り出しを2031年内に完了し、その後、共用プール燃料の高台での乾式保管を実施していく計画。



6. 施設の供用期間

6.2. プロセス主建屋および高温焼却炉建屋

- 汚染水対策の今後の主要な作業プロセスと工程は、「廃炉中長期実行プラン2023」より、以下のとおり。
- 最地下階に存在する高線量のゼオライト土嚢等を回収したうえで、建屋の滞留水の水位低下を開始し、**2020年代後半を目途に建屋床面を露出させる計画**。



参考1) 運用補助共用施設, プロセス主建屋, 高温焼却炉建屋の概要 (1/4)

1. 運用補助共用施設の概要

- 使用済燃料共用プール
容量 : 6,734体
- 所内共通ディーゼル発電機
容量 : 8,250kVA×2台

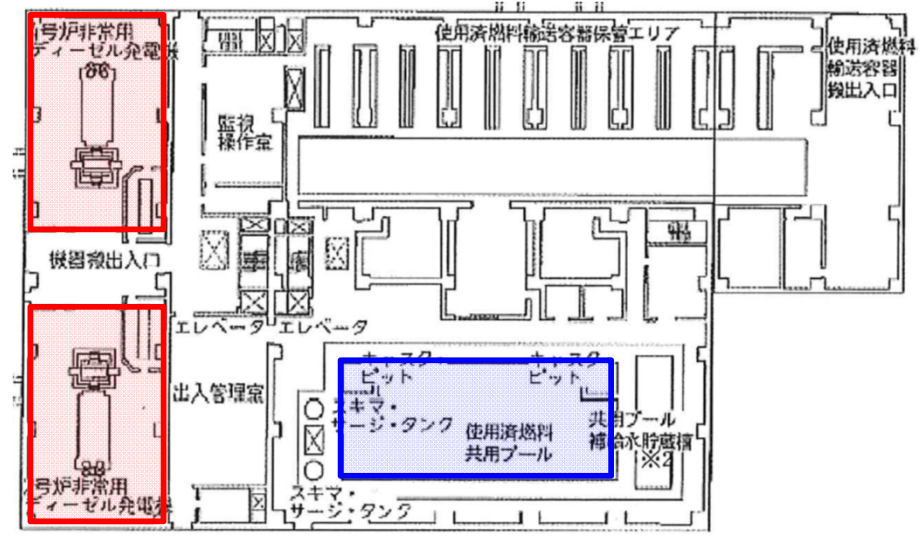


図 運用補助共用施設 水平断面図 (G.L.+0.2m)

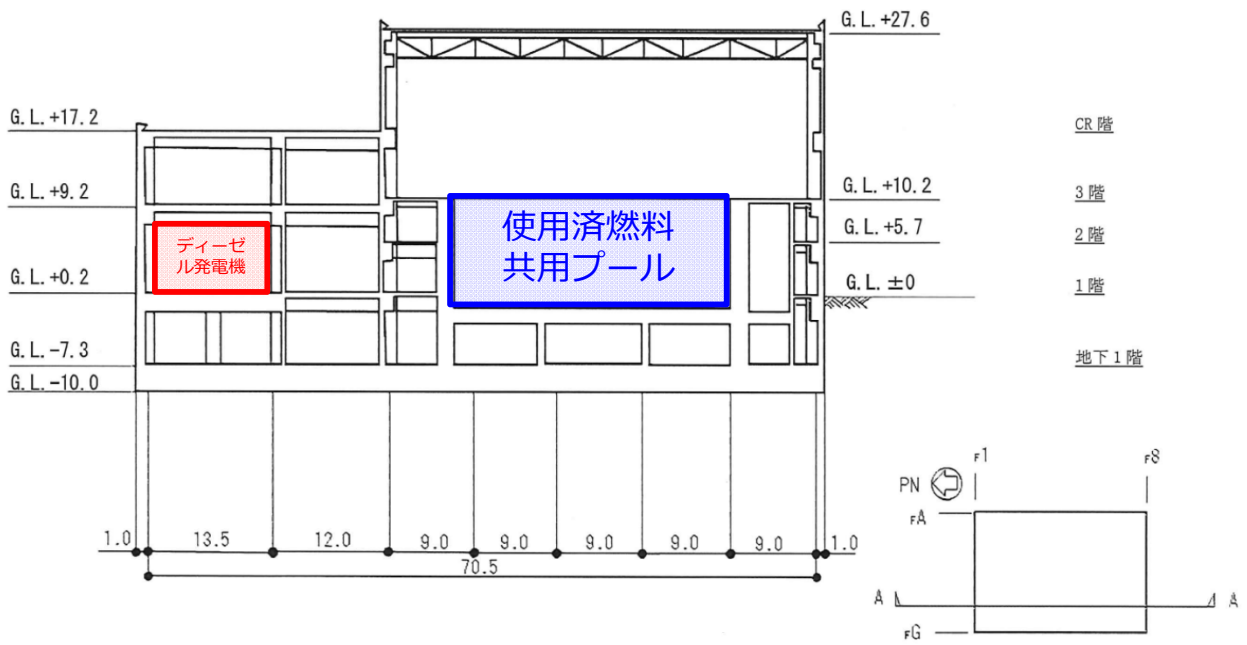
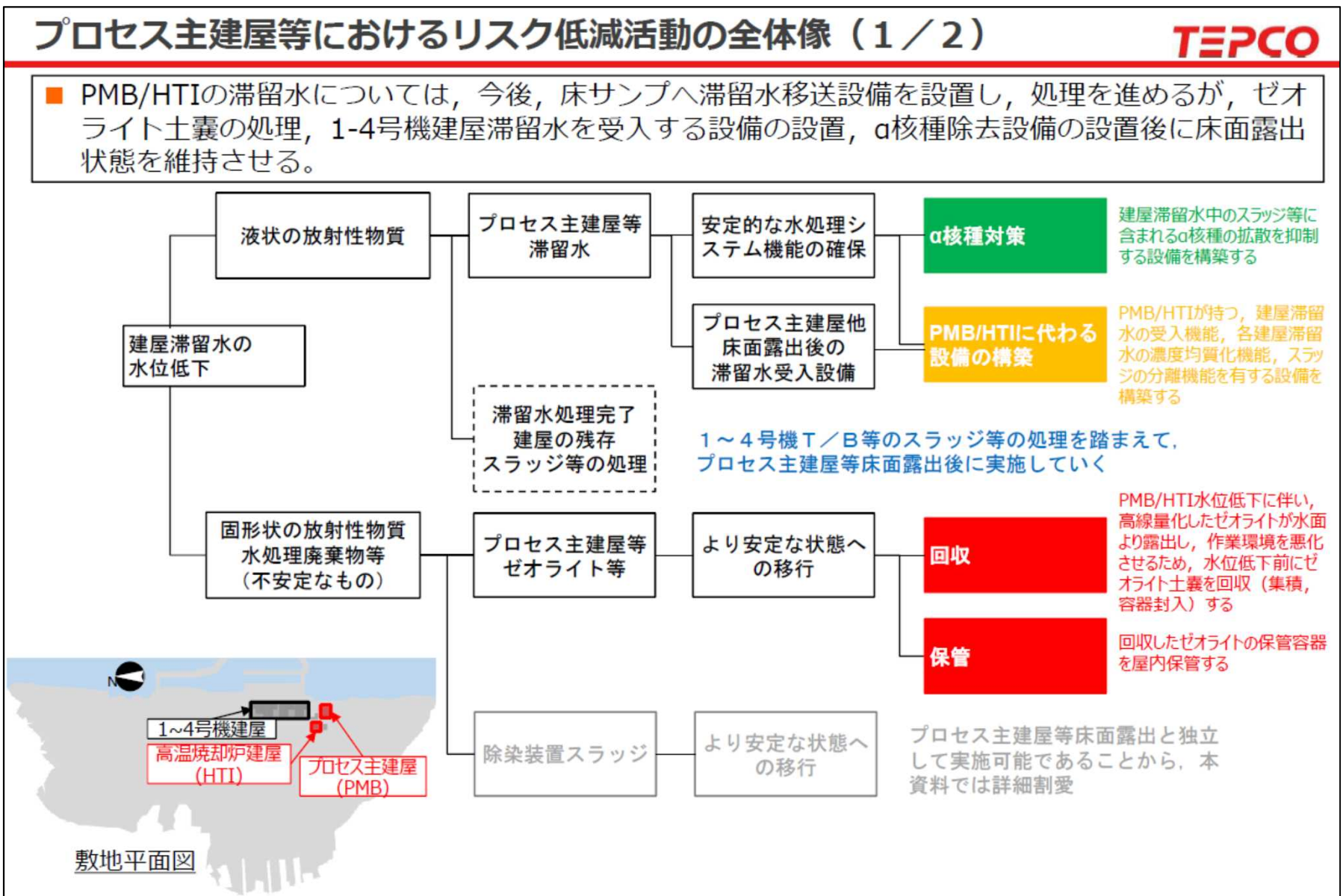
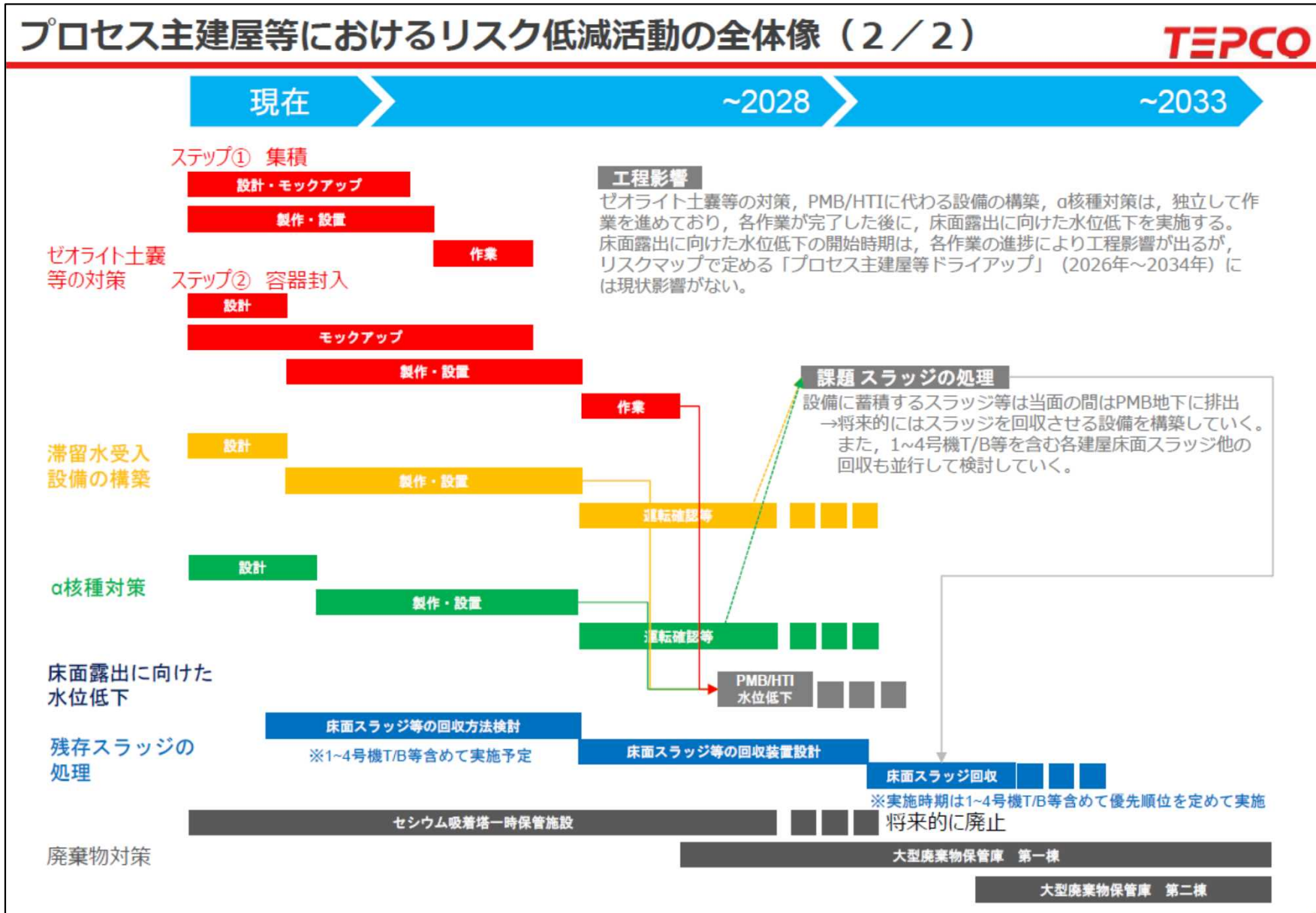


図 運用補助共用施設 NS方向断面図

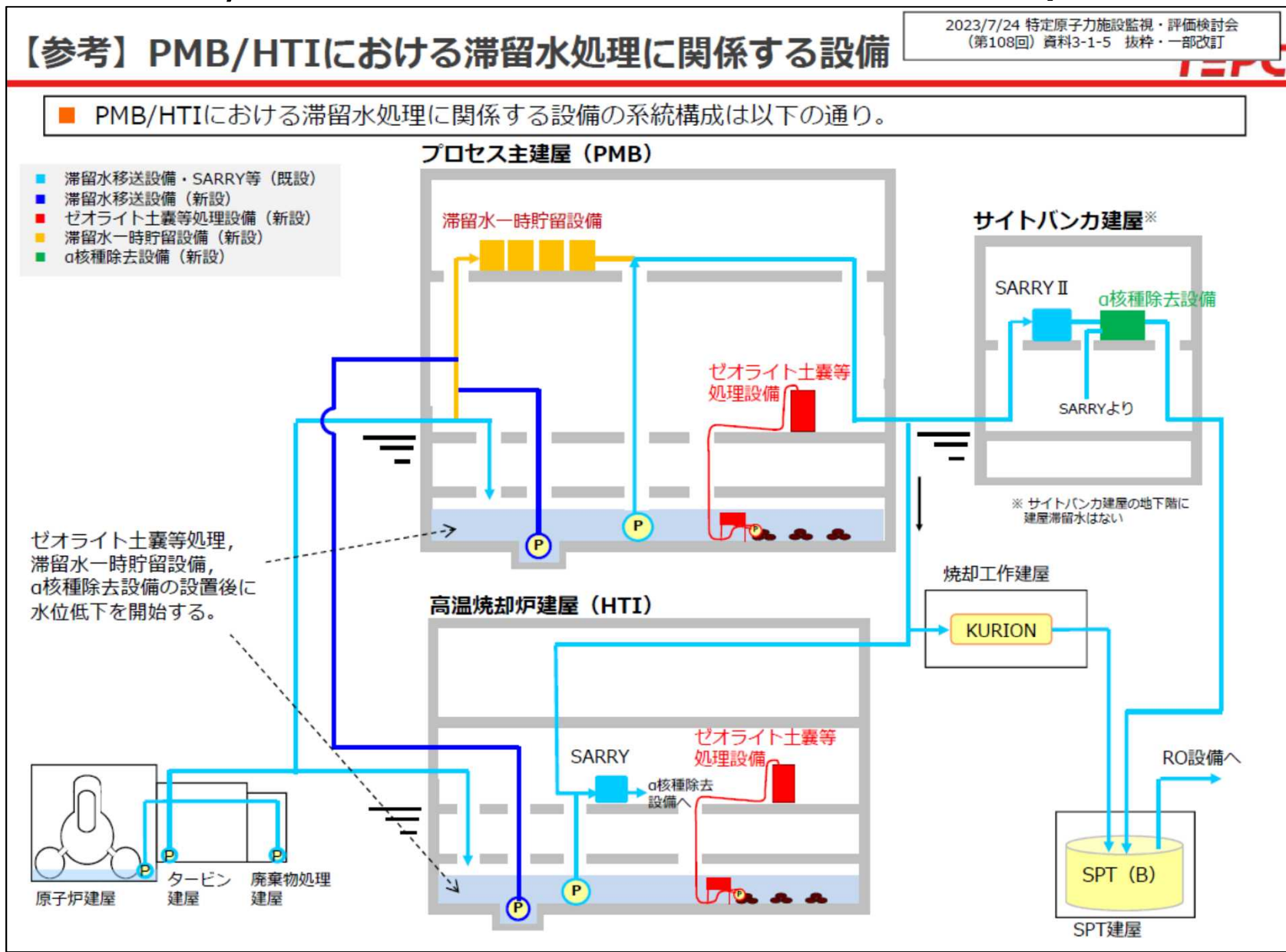
2. プロセス主建屋, 高温焼却炉建屋におけるリスク低減活動 (1/3)



2. プロセス主建屋, 高温焼却炉建屋におけるリスク低減活動 (2/3)



2. プロセス主建屋, 高温焼却炉建屋におけるリスク低減活動 (3/3)



参考2) 周辺斜面による耐震重要施設への影響検討 (1/7)

以下のとおり，周辺斜面による耐震重要施設への影響を検討し，施設の安全機能への影響はないことを確認した。

1. 評価対象施設と斜面

- 下図に示す⑦運用補助共用施設，⑧プロセス主建屋，⑨高温焼却炉建屋の周辺斜面による影響を検討する。

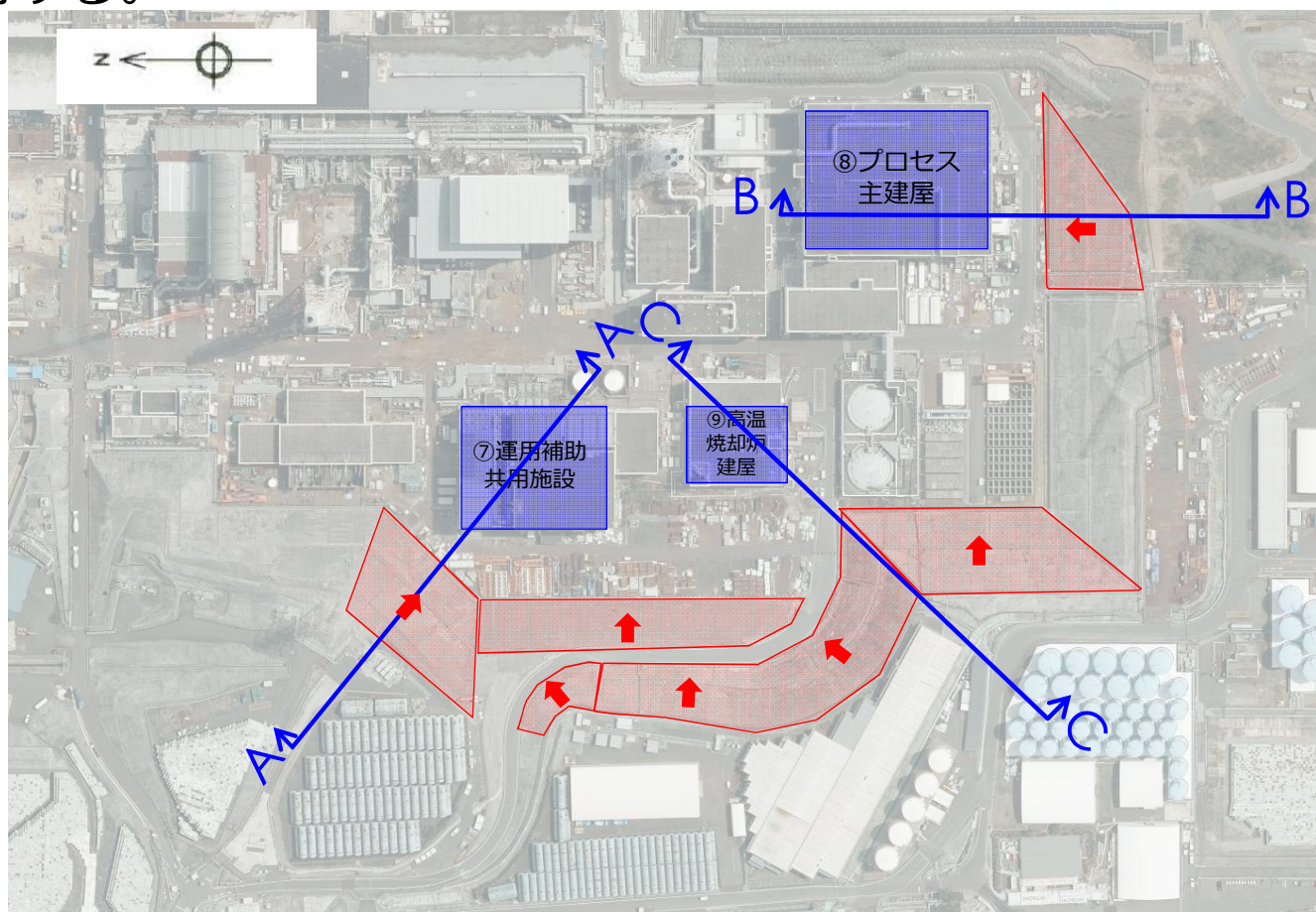


図 施設-周辺斜面平面図

2. 波及的影響の評価

2.1. 波及的影響の評価方法 (①：斜面崩壊形状の想定)

- 評価対象斜面について、斜面崩壊時における崩壊土砂の堆積形状を以下の条件にて想定し、崩壊土砂が施設に到達するか、否かを判定する。

条件1：斜面崩壊時の崩壊土砂は**土の安息角 (=15°) の傾斜で堆積**。

条件2：ほぐした時の土量の変化率を考慮し**崩壊土砂は原地山 (崩壊前) の1.3倍に増加して堆積**。

- 崩壊土砂が施設へ到達する結果となった場合、施設の安全機能に及ぼす影響を評価。
- 崩壊土砂が施設へ到達しない結果となった場合、施設の安全機能に対して周辺斜面は波及的影響を及ぼさないと評価。

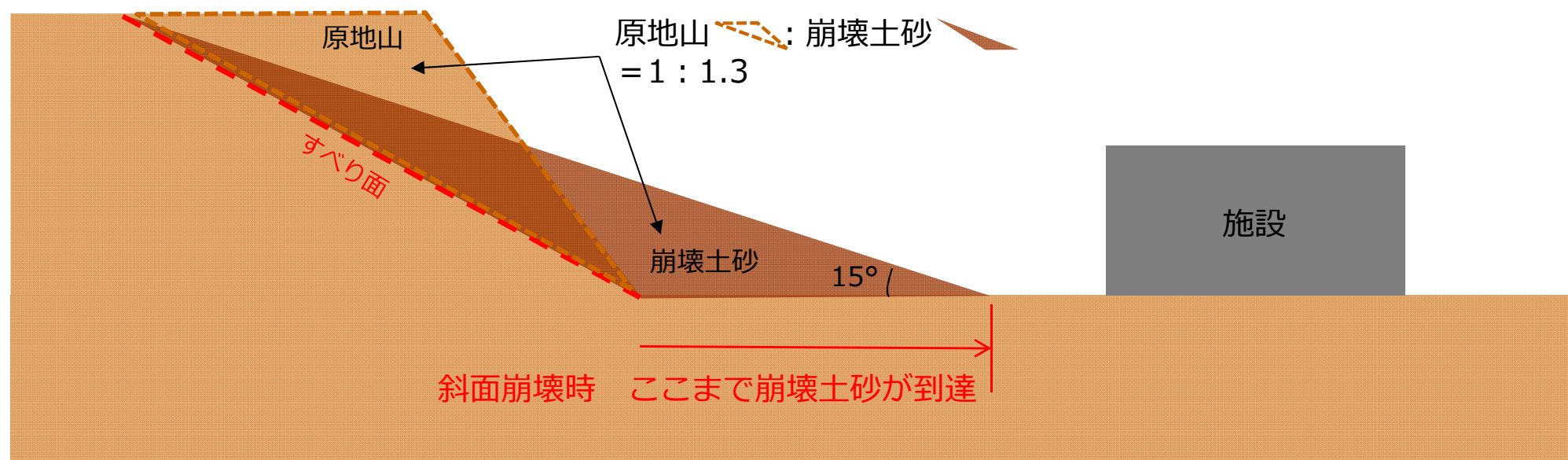


図 斜面崩壊形状の想定方法

参考2) 周辺斜面による耐震重要施設への影響検討 (3/7)

2.2. 波及的影響の評価方法 (②: 施設への影響評価)

- 崩壊土砂が施設に到達する場合、施設の安全機能に及ぼす影響を評価する。
- 崩壊土砂が施設に及ぼす影響として、「国土交通省告示第332号（平成13年3月28日）」の告示式 F_{sm} に基づき、崩壊土砂により建屋に作用する衝撃力を算定する。
- 崩壊土砂による衝撃力と建屋の保有水平耐力を比較することで、施設の安全機能に及ぼす影響を評価する。

$$F = a \cdot F_{sm} \quad ※$$

F: 施設建屋に作用する衝撃力 (kN/m²)

F_{sm} : 移動の力 (kN/m²)

(国土交通省告示第332号の告示式に基づく)

a: 衝撃緩和係数

$$F_{sm} = \rho_m g h_{sm} \left[\left\{ \frac{b_u}{a} \left(1 - e^{-\frac{2aH}{h_{sm} \sin \theta}} \right) \cos^2(\theta_u - \theta_d) \right\} e^{-\frac{2aX}{h_{sm}}} + \frac{b_d}{a} \left(1 - e^{-\frac{2aX}{h_{sm}}} \right) \right] \quad ※$$

F_{sm} : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動により建築物の地上部分に作用すると想定される力の大きさ (単位: kN/m²)

ρ_m : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の密度 (単位: t/m³)

g: 重力加速度 (単位: m/s²)

h_{sm} : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の移動の高さ (単位: m)

b_u, b_d : 以下の式で求めた値

$$b_d = \cos \theta_d \left\{ \tan \theta_d - \frac{(\sigma - 1)C}{(\sigma - 1)C + 1} \tan \varphi \right\}$$

θ_u : 急傾斜地の傾斜度

θ_d : 急傾斜地の下端に隣接する急傾斜地以外の土地の傾斜度 (単位: 度)

σ : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の比重

C: 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の容積濃度

φ : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の内部摩擦角 (単位: 度)

H: 急傾斜地の高さ (単位: m)

X: 急傾斜地の下端から当該建築物までの水平距離 (単位: m)

a: 以下の式で求めた値

$$a = \frac{2}{(\sigma - 1)C + 1} f_b$$

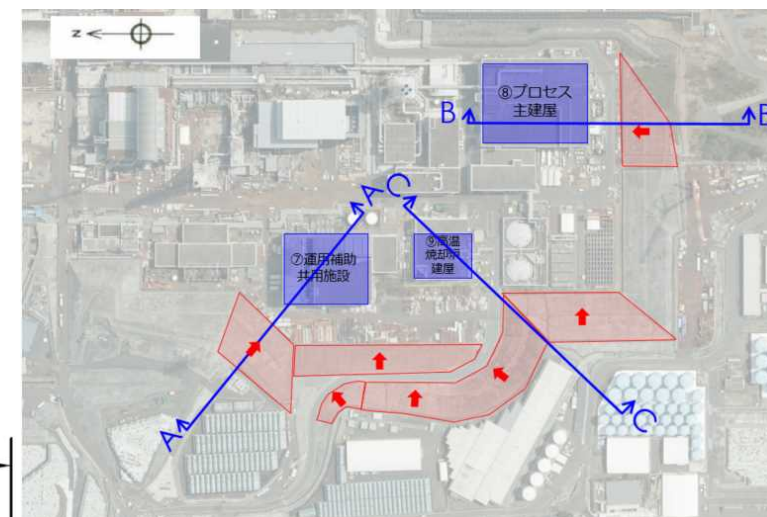
f_b : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の流体抵抗係数

国土技術政策総合研究所資料No.1163号「急傾斜地崩壊対策における有限要素法を用いた待ち受け擁壁安定解析手法」(国土交通省 国土技術政策総合研究所, 令和3年6月)より抜粋

参考2) 周辺斜面による耐震重要施設への影響検討 (4/7)

2.3. 斜面崩壊形状の想定結果 (①: 運用補助共用施設)

- 評価対象斜面に対して想定した崩壊土砂は、**運用補助共用施設に到達**。
→崩壊土砂による施設 (建屋) への影響を評価。



断面位置図

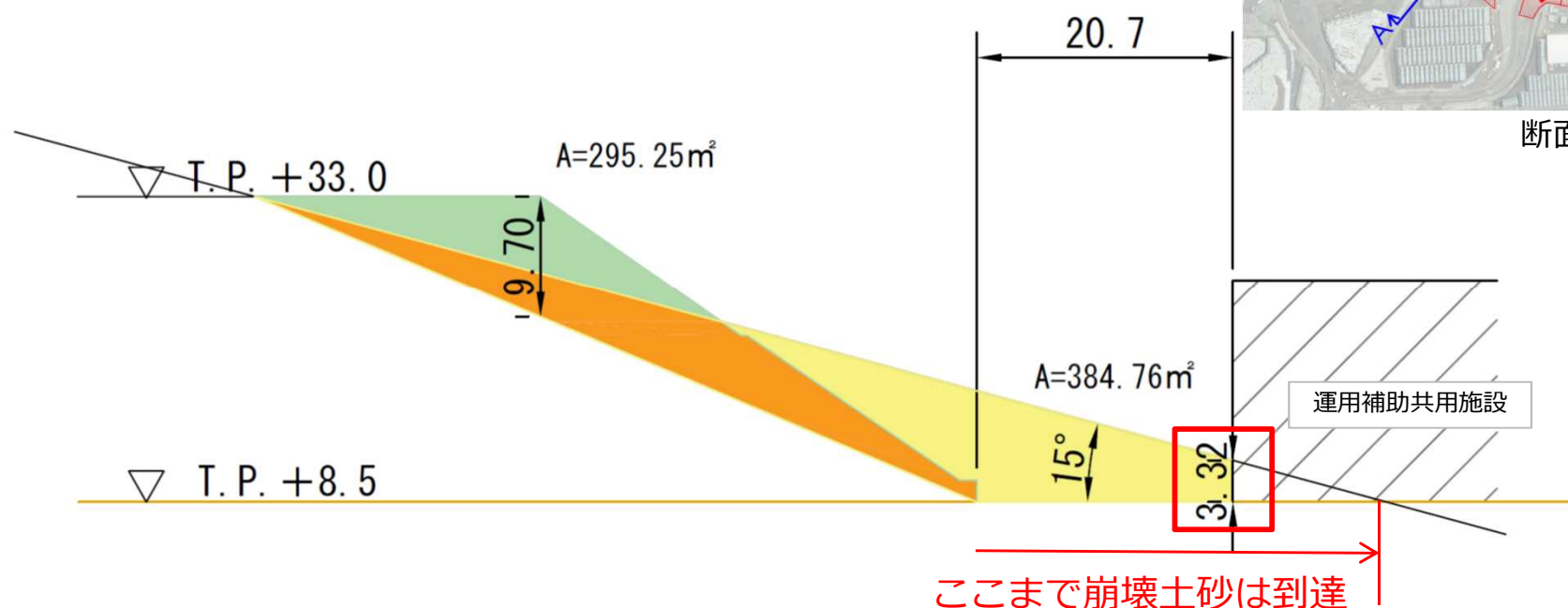
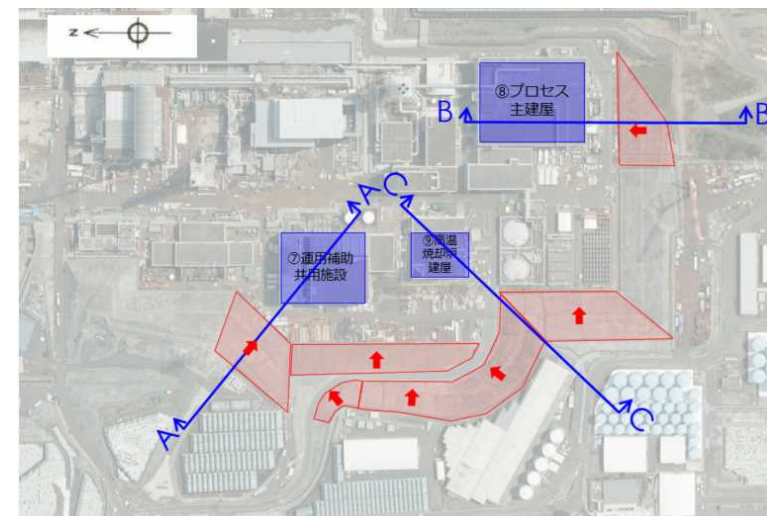


図 運用補助共用施設の周辺斜面の崩壊形状の予測 A-A断面

参考2) 周辺斜面による耐震重要施設への影響検討 (5/7)

2.4. 斜面崩壊形状の想定結果 (②: プロセス主建屋)

- 評価対象斜面に対して想定した崩壊土砂は、**プロセス主建屋に到達**。
→崩壊土砂による施設 (建屋) への影響を評価。



断面位置図

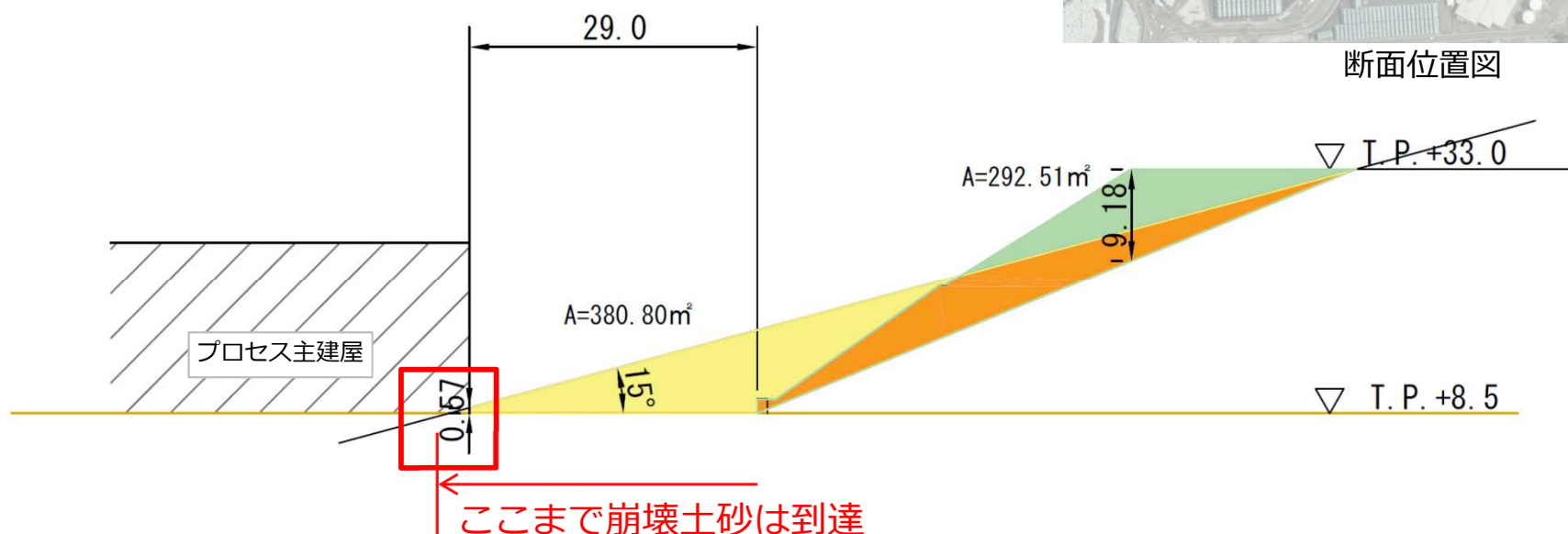
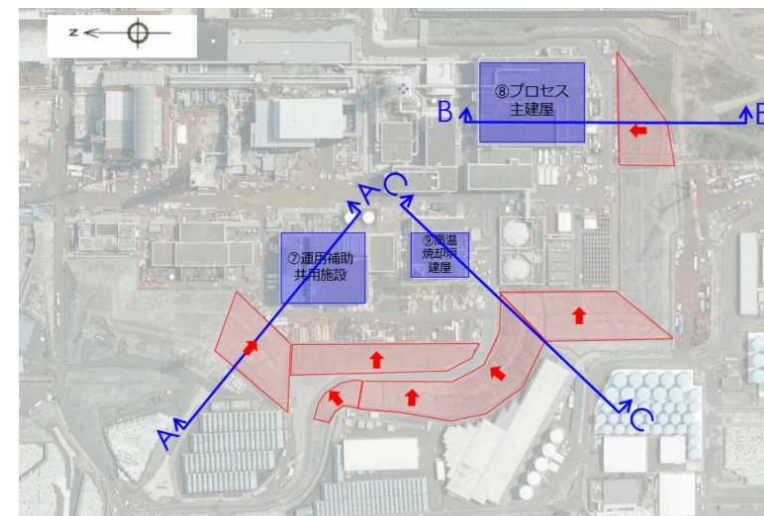


図 プロセス主建屋の周辺斜面の崩壊形状の予測 B-B断面

参考2) 周辺斜面による耐震重要施設への影響検討 (6/7)

2.5. 斜面崩壊形状の想定結果 (③: 高温焼却炉建屋)

- 評価対象斜面に対して想定した崩壊土砂は、**高温焼却炉建屋に到達しない。**
→周辺斜面は波及的影響を及ぼさないと判定。



断面位置図

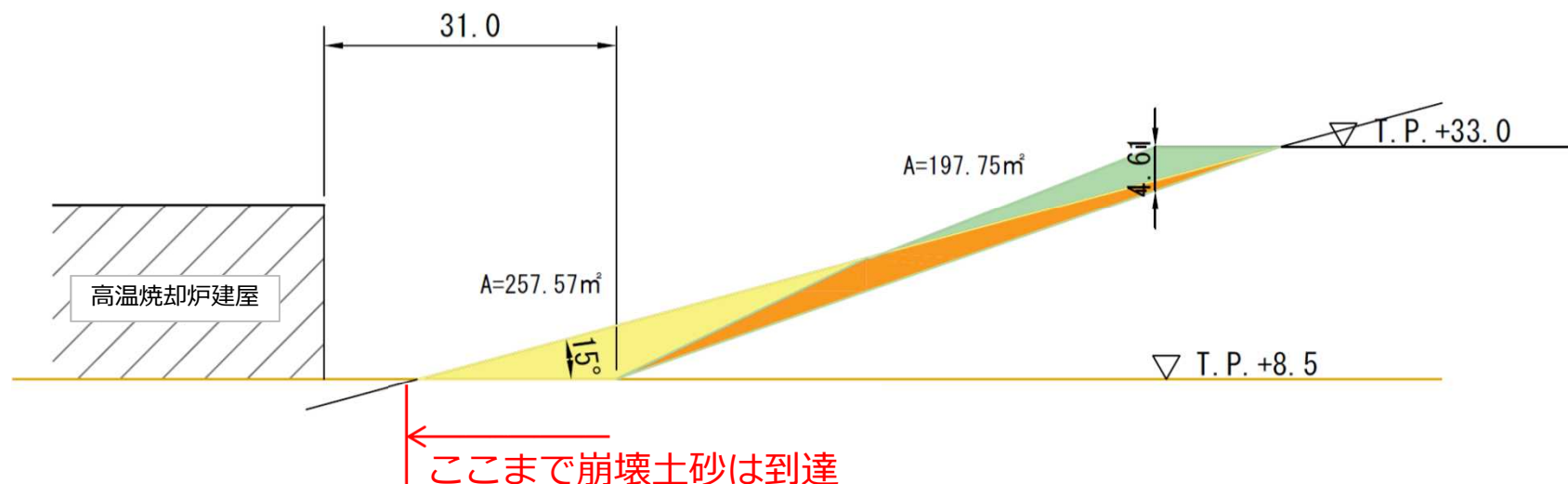


図 高温焼却炉建屋の周辺斜面の崩壊形状の予測 C-C断面

参考2) 周辺斜面による耐震重要施設への影響検討 (7/7)

2.6. 施設への影響評価結果

- 算定した崩壊土砂による衝撃力は、運用補助共用施設およびプロセス主建屋の保有水平耐力と比較して十分に小さい。
- よって、周辺斜面は運用補助共用施設およびプロセス主建屋の安全機能に影響を及ぼさないと評価。

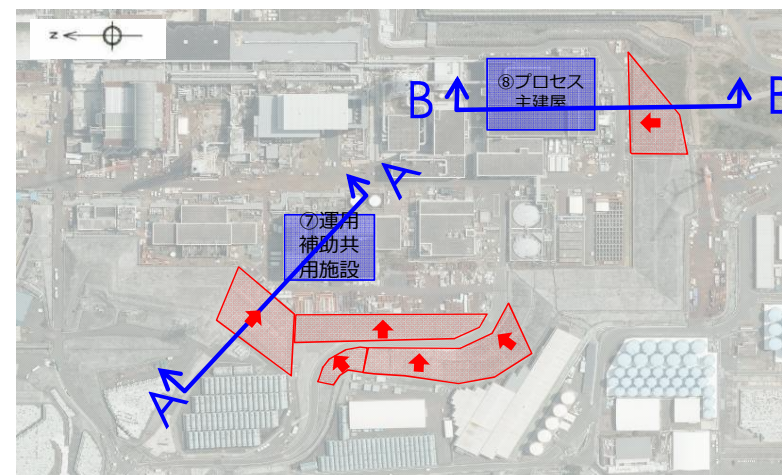


図 建屋-周辺斜面平面図

| 評価対象施設 | 検討断面方向 | 崩壊土砂による衝撃力F ($\times 10^4 \text{kN}$) | 建屋の 保有水平耐力 Q_u ($\times 10^4 \text{kN}$) | 安全率 Q_u/F |
|----------|--------|--|--|----------------|
| 運用補助共用施設 | EW方向 | 4 | 133 | 33.3 |
| | NS方向 | 3 | 176 | 58.7 |
| プロセス主建屋 | NS方向 | 3 | 136 | 45.3 |