

高浜発電所 2号機  
クレーン倒壊の原因と対策について

平成**29**年 2月**16**日

関西電力株式会社



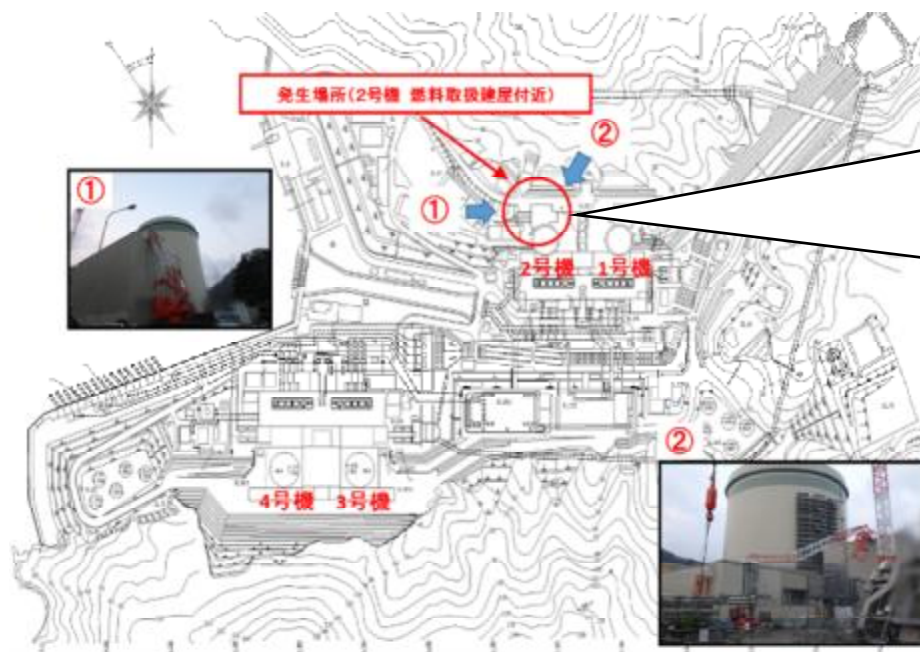
# 目 次

---

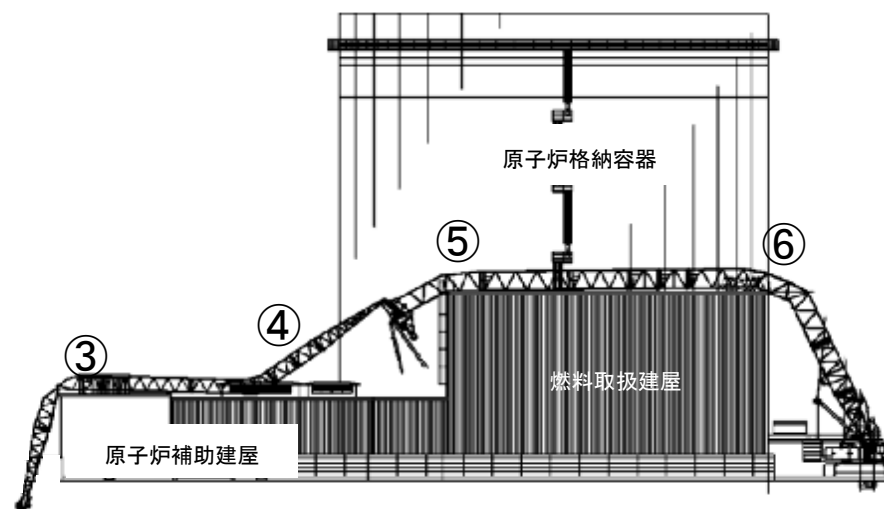
---

1. クレーン倒壊の状況と点検結果	P 1
2. クレーン倒壊までの主な時系列および問題点	P 2
3. 対策	P 3
参考 1 [クレーン倒壊に至る想定メカニズム]	P 5
参考 2 [風速についての考察]	P 6
参考 3 [建屋への衝突影響評価]	P 9
参考 4 [当該工事におけるクレーン作業終了後の安全対策]	P 10

# 1. クレーン倒壊の状況と点検結果



原子炉補助建屋および燃料取扱建屋



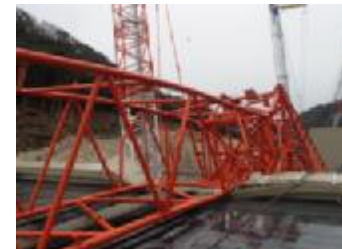
③ (原子炉補助建屋 東側屋上パラペット)  
左：撤去前、右：撤去後



④ (原子炉補助建屋 屋上)  
左：撤去前、右：撤去後



⑤ (燃料取扱建屋 東側屋上パラペット)  
左：撤去前に手前から撮影、右：撤去後に真上から撮影



⑥ (燃料取扱建屋 西側屋上パラペット)  
左：撤去前に手前から撮影、右：撤去後に真上から撮影



## 点検結果

平成29年1月26日から29日にかけて、原子炉補助建屋等を点検した結果、2号機燃料取扱建屋のパラペットや原子炉補助建屋屋上の配管の保温材等に損傷が認められたが、両建屋や安全上重要な設備等（使用済燃料ピット、1次系純水タンク等）に異常がないことを確認した。

## 2. クレーン倒壊までの主な時系列および問題点

日時	時刻	内容	当社	連絡	元請会社	問題点
H28年 10月～ 12月	—	事前打合せ ～ 転倒検討書 作成 ～ 200t クレーン設置	元請会社に対して、作業計画書の提出およびクレーン転倒検討書の提出を依頼。  クレーンにはアンカウエイト5tを設置し、瞬間風速約42m/sまで転倒の恐れがないことを確認。	→  ←	冬季であり北西風が多いことを踏まえ正面からの条件で評価。瞬間風速約42m/sまで問題ないことを確認し、当社へ報告。  (200tクレーン転倒評価結果)瞬間風速約42m/sまでは問題なし	転倒について限界の評価値のみを議論しており、元請会社の通例として、暴風警報が発令される等、最大瞬間風速30m/s以上の風が想定される場合はジブをたたみ、クレーンの転倒を防止する対策をとることを元請会社から当社に伝え、両社で共有することができなかった。 (当社・元請会社)
	H29年 1月20日	16:30	作業終了	—		作業終了時に風が弱いと感じ、いつもと同じ待機姿勢で片付けを実施。(平均風速:約7m/s)
16:42		福井県暴風警報発令	福井県内に暴風警報が発令されたことを認識しておらず。		福井県内に暴風警報が発令されたことを認識しておらず。	暴風警報が発令した場合には自動的に通知を受ける仕組みになっておらず、警報の発令をリアルタイムに認識できなかった。 (当社・元請会社)  クレーン作業者として、風の情報を的確に把握し、クレーンの待機姿勢を変えることができなかった。(元請会社)
17:30		報告	作業完了報告を受けた。	←	作業の終了を当社に報告。	—
18:00		福井県暴風警報の認知	暴風警報が発令されたことを確認。クレーンの転倒防止対策をとっているか元請会社に確認せず。暴風警報の風速は平均20m/sと認識、クレーン待機状態では瞬間風速約42m/sまで大丈夫なため待機姿勢に問題ないと判断。		—	暴風警報を確認したが、瞬間風速約42m/sまで問題ないという評価結果に頼り、元請会社がクレーンの転倒を防止する対策をとっているかどうかを確認しなかった。(当社)
	21:49	事象発生	発電室員がクレーン倒壊を確認。		—	—

原子力安全に対する第一義的責任は当社にあり、責任を持って対応していく

➤ **関西電力**は、工事の安全対策に対する管理強化を以下のとおり実施する

## 【工事計画段階】

- 対策① 発電所長以下関係者で自然環境の悪化を前提に、安全上重要な機器等への影響等、想定されるリスクを検討会において抽出し、元請会社に対して指導を実施する。
- 対策② 元請会社が自然環境の悪化によって安全上重要な機器等へ影響を与えることのないよう工事計画をたて、想定されるリスクに対し適切な処置を計画していることを確認する。

## 【工事实施段階】

- 対策③ 自然環境の悪化に関する情報を積極的に入手し、気象状況が急変する恐れがあれば、元請会社を含む所内関係者と情報を共有する。発電所作業担当者は現場において事前に定めた安全対策が適切に実施されていることを確認・指導する。なお、自然環境の悪化時には事業本部、当該発電所で体制を構築し、対策等の確認と元請会社への指導を実施する。

➤ **元請会社**の工事に対する安全対策が、確実に履行するよう下記の事項を要求し、**当社が管理する**

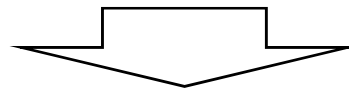
**【工事計画段階】**

対策⑤ 自然環境の悪化を考慮に入れた移動式クレーン等の機材の安全確保措置（評価、運用方法、厳しい自然現象が想定される場合の連絡体制や対応体制等）について計画し、関西電力に提出する。

**【工事実施段階】**

対策⑥ クレーン作業終了時は、風速に関わらず、ジブをたたむ等の安全対策を実施する。

対策⑦ 自然環境の悪化に対する警報等の情報を適切に入手し、悪化する場合は近傍の安全上重要な機器等への影響を回避するための措置を実施する。 等



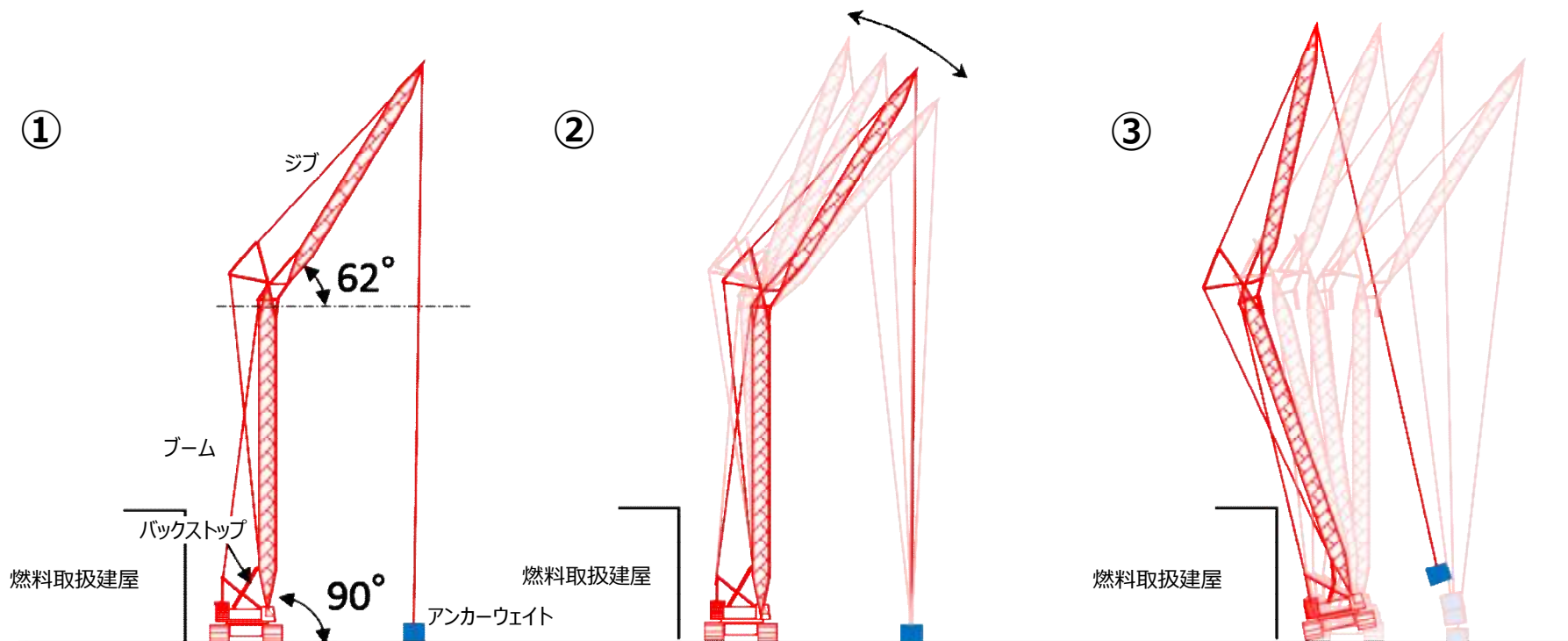
**当社が責任を持って、請負会社の安全対策について最終的な確認を行う**



# クレーン倒壊に至る想定メカニズム

参考 1

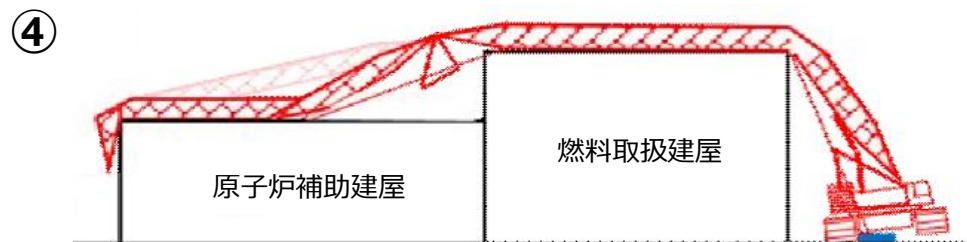
5



①クレーンには5 tのアンカーウェイトを設置し、待機状態としていた。

②発電所構内の風が急に強まり、クレーンが前後に揺れ始めた。

③クレーンに瞬間的に強風が吹きつけ、ブームを支えていたバックストップが変形し、支えを失ったブームがクレーン後方へ倒れ始めた。  
(瞬間風速40 m/秒以上と想定)



④ブームが燃料取扱建屋に接触したため、ブームが折れ曲がり、燃料取扱建屋の屋上へ倒れた。それに伴いジブもクレーン後方へ折れ曲がり、原子炉補助建屋の屋上に倒れた。

※バックストップ：ブームが後方に倒れないようにブームの根元で支えている支柱

【バックストップのイメージ】



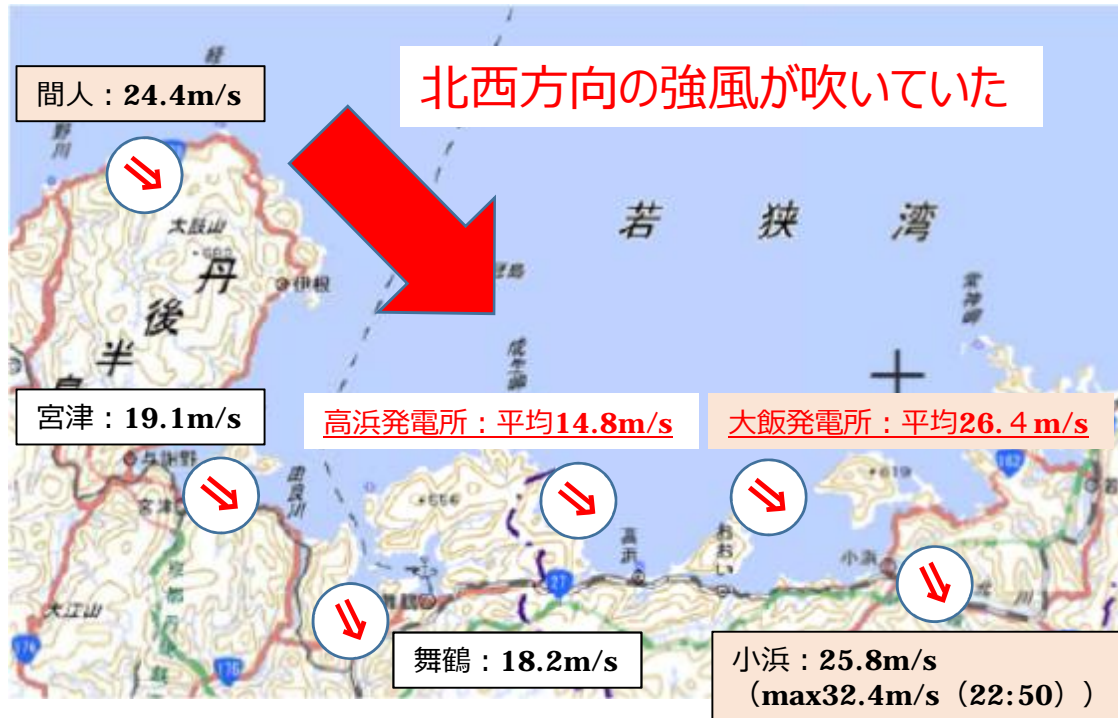
変形したバックストップ



正常なバックストップ

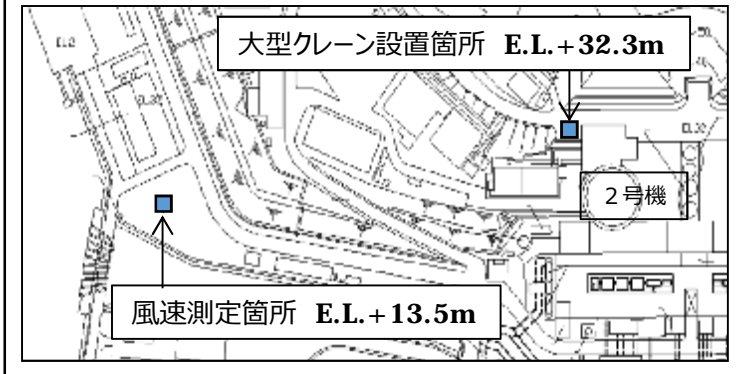
大型クレーンジブ損傷時（平成29年1月20日21時49分頃）の若狭湾周辺の風向風速は下図のとおりであり、丹後半島側から北西方向の強風が吹いていた。

高浜発電所 2号機大型クレーンジブ損傷時の若狭湾周辺の風向風速



□：気象庁ホームページデータ 最大瞬間風速（10分ごとの値）  
（高浜、大飯は気象庁のデータがないため、当社測定データを記載）

発電所構内の風速測定箇所と大型クレーン設置箇所の位置関係



事象発生後の1月25日に当該大型クレーン設置箇所付近の350tクレーンの風速計※（計測高さE.L.+約90m）で測定した平均風速は、E.L.+13.5mの風速計での平均風速と比較して、概ね2倍以上となっていることを確認した。

※：主ジブと補ジブの接合部に設置

当日の若狭湾周辺では、複数箇所において最大瞬間風速30m/s級の風が吹いており、発電所構内においても同等の風が吹く可能性がある天候状態であった。

また、損傷したクレーンの風下に待機していた1号機350tクレーンのアンカウエイも、強風の影響で1m程度移動していた痕跡があった。



## 風速についての考察 (2 / 3)

発電所構内の地形と主要な構造物を模擬した数値流体シミュレーションを行い、当該大型クレーン設置箇所での平均風速分布を推定した。

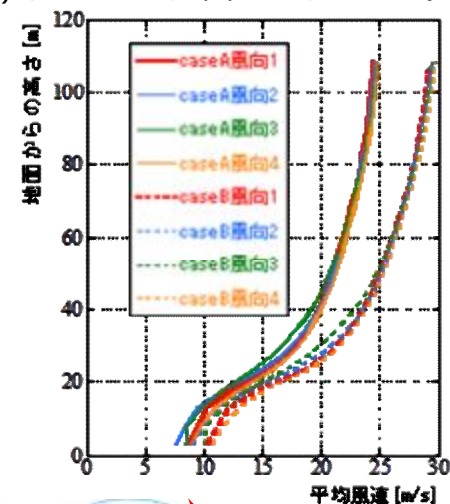
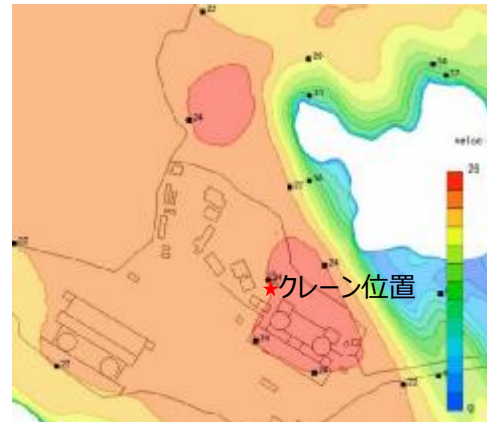
図4 シミュレーション結果

図3 クレーン高さ付近(地上約100m) (クレーン設置箇所の平均風速)

図1 風況解析を実施した風向



図2 風況の可視化 (風向1) の平均風速分布 (ケースA風向1)



入力する海風のデータは無いことから、高い位置 (地上25m) で精度の高い観測が行われている気象庁の小浜観測所の当日のデータから高浜発電所近辺の海風を仮定

平均風速 : **18.9m/s**(ケースA)、**22.6m/s**(ケースB) (2 風速を仮定)

風向 : 北北西～北西 (4 風向を仮定) (図1参照)

- 海側から山に沿って、クレーンの正面方向に風が流入 (図2参照)
- クレーン高さ付近において、クレーン周辺に風速の大きい風が発生 (図3参照)
- 当日のクレーン設置箇所上空では平均約**24.5～29.5m/s**の強風が吹いていたと推定 (地表付近では約**7.5～11m/s**) (図4参照)
- **最大瞬間風速<sup>※1</sup>については約40.2～48.4m/sと推定。**

上空約108m :  
約24.5～29.5m/s

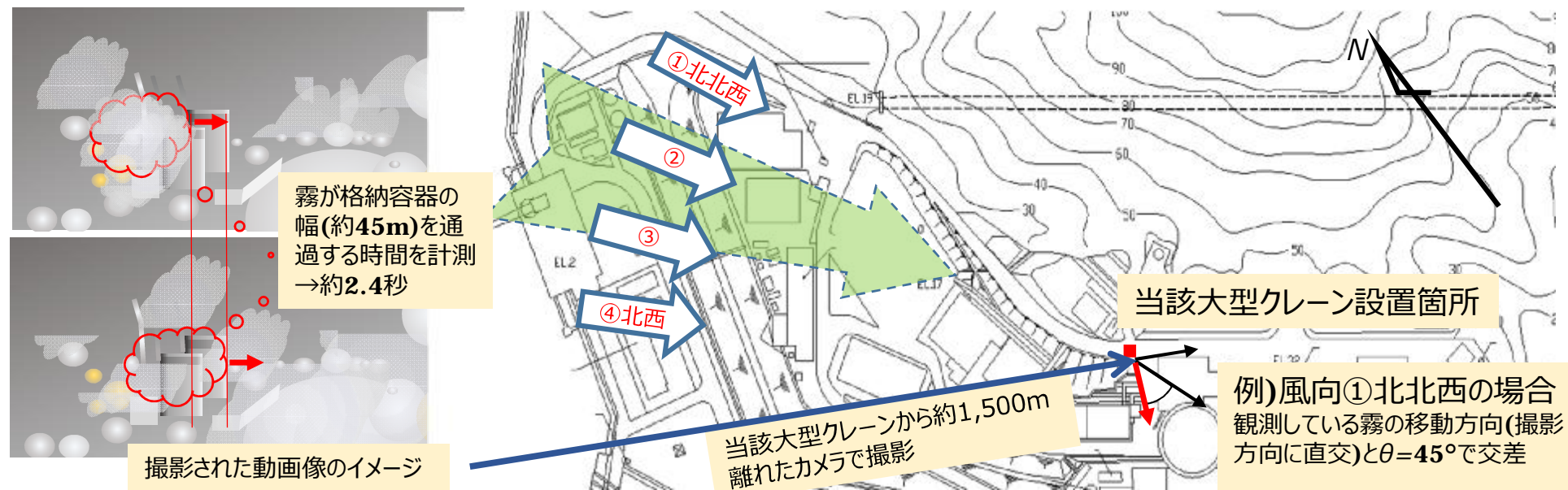
上空約68m :  
約22.5～27m/s

地表付近(E.L.+35m) :  
約7.5～11m/s

※1 最大瞬間風速は平均風速に突風率 (最大瞬間風速と平均風速の比 : 1.64) を乗じて算出した。

## 風速についての考察（3 / 3）

当該大型クレーンジブが損傷する様子を捉えた報道動画像に映っていた「霧」の動く速度から、当該大型クレーン設置箇所での事象発生時点の風速を推定した。



- ・カメラからは十分距離があり、霧は構内の照明に照らされているため、格納容器からの距離は無視し得る。
  - ・前頁と同様、北北西～北西の4方向を仮定。  
→ 観測している霧の移動方向（撮影方向に直交）と風向とのなす角度は $\theta=45^\circ\sim 22.5^\circ$ となる。
  - ・事象発生前後10秒間程度では、約2.4秒間で格納容器の前面を連続的に霧が通過した。
- 以上より、

$$27[m/sec] \leq \frac{45[m]}{2.4[sec]} \times (1/\sin q^\circ) \leq 49[m/sec]$$

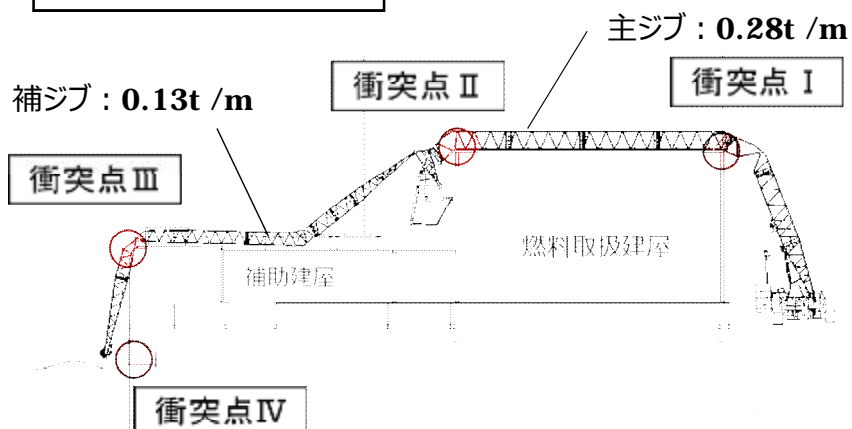
当日のクレーン設置箇所上空では瞬間的に約**27～49m/s**の強風が吹いていたと推定された。

## 目的

クレーンジブが建屋に衝突した4箇所を対象に、衝突による建物構造への影響について、評価解析ならびに点検結果との整合に基づき評価する。

評価対象：燃料取扱建屋（鉄骨造）  
補助建屋（鉄筋コンクリート造）

## 評価方法

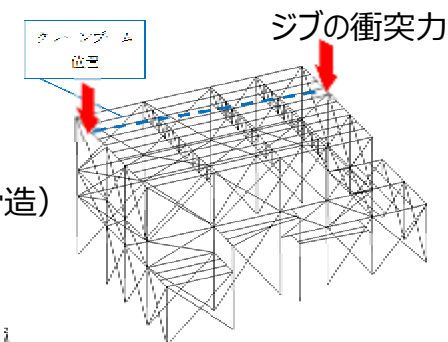


・衝突点I、II、IIIについては、点検により、損傷が確認されておらず、ジブの衝突荷重を想定して建屋への損傷の有無を解析・評価により再確認。

・衝突点IVについては、点検により確認された壁表層の損傷を欠損とみなして、評価を行い、耐震性に影響がないことを確認。

## 解析結果

建物構造体である柱、梁、壁要素をモデル化し、ジブ衝突時の力を加えたときの状態を解析



例) 燃料取扱建屋（鉄骨造）の解析モデル

	衝突点 I	衝突点 II
短期許容応力度*に対する比率	<b>0.573</b>	<b>0.580</b>

\*地震や強風などの短期的な荷重の外力に対して、柱、梁、壁などの部材が壊れない安全な強度（1以下）

## 評価結果

- ① 評価解析により、クレーンジブの衝突による建屋の耐震性には影響がない事を確認  
(衝突点IVの壁の損傷を考慮しても耐震性に影響なし)
- ② 解析結果と点検結果とが整合していることを確認

⇒ 建屋への影響はない

## クレーンの安全対策例(200tクローラークレーン)

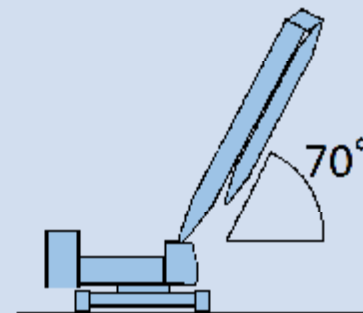
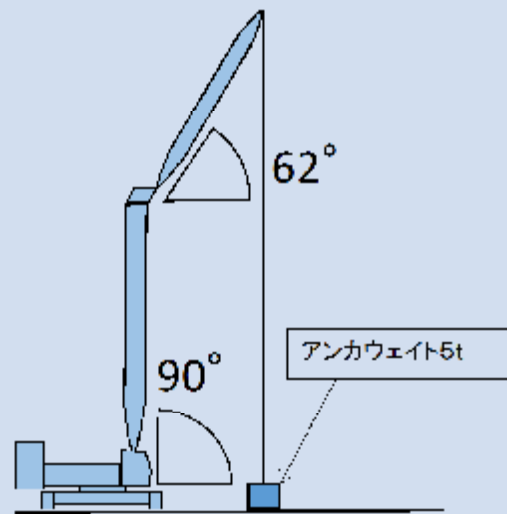
事象発生前

今後の対策

5tのアンカウエイトで保持

ジブをたたむ

ジブをたたみ  
地面に設置



最大瞬間風速30m/sを超えると予想される場合