

川内原子力発電所2号炉 劣化状況評価
(耐津波安全性評価)

補足説明資料

2023年10月10日

九州電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る
事項ですので公開することはできません。

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象と評価手法	4
(1) 評価対象	4
(2) 評価手法	4
4. 耐津波安全性評価	6
(1) 耐津波安全性評価	6
(2) 経年劣化事象を考慮した耐津波安全性評価	10
(3) 保全対策に反映すべき項目の抽出	11
5. まとめ	12
(1) 審査基準適合性	12
(2) 長期施設管理方針として策定する事項	12
別紙	16
別紙1. 耐津波安全性評価の評価対象設備の、具体的な抽出根拠、抽出プロセス及び 評価内容について	1-1
別紙2. 取水ピット水位の耐津波安全性評価について	2-1
別紙3. 貫通部止水処置の技術評価と現状保全について	3-1
別紙4. 津波監視カメラの耐津波安全性評価について	4-1

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第 113 条の規定に基づき実施した劣化状況評価のうち、耐津波安全性評価の評価結果について、補足説明するものである。

なお、高経年化対策に関する各機器・構造物の技術評価（以下「技術評価」という。）については、劣化状況評価書にとりまとめている。

2. 基本方針

各機器・構造物の材質、環境条件等を考慮し、発生し得る経年劣化事象に対して「技術評価」を行った結果、保全対策を講じることによっても管理ができないという経年劣化事象は抽出されていない。

したがって、耐津波安全性を考慮した場合にも、耐津波安全性に影響を与える経年劣化事象を保全対策により適切に管理することで、耐津波安全性の確保が可能であると考えられる。

しかしながら、高経年プラントの耐津波安全性については、上記経年劣化事象の管理の観点からも、技術的評価を実施して安全性を確認しておく必要があると考えられることから、劣化状況評価において耐津波安全性の評価を実施するものである。

耐津波安全性評価の基本方針は、評価対象機器について発生し得る経年劣化事象に対して実施した「技術評価」に耐津波安全性を考慮した技術的評価を実施して、運転開始後 60 年時点までの期間において「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」、「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」、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」及び「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」に定める基準に適合することを確認することである。

耐津波安全性評価についての要求事項を表 1 に整理する。

表 1 (1/2) 耐津波安全性評価についての要求事項

審査基準、ガイド	要求事項
<p>実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準</p>	<p>2. 実用炉規則第113条第2項第2号に掲げる原子炉その他の設備の劣化の状況に関する技術的な評価の結果、延長しようとする期間において、同評価の対象となる機器・構造物が下表に掲げる要求事項（以下「要求事項」という。）に適合すること、又は同評価の結果、要求事項に適合しない場合には同項第3号に掲げる延長しようとする期間における原子炉その他の設備に係る施設管理方針の実施を考慮した上で、延長しようとする期間において、要求事項に適合すること。</p> <p>○経年劣化事象を考慮した機器・構造物について、津波時に発生する応力等を評価した結果、許容限界を下回ること。</p>
<p>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</p>	<p>3.2(1)「延長しようとする期間における運転に伴い生ずる原子炉その他の設備の劣化の状況に関する技術的な評価」（以下「劣化状況評価」という。）の記載内容について評価の対象とする機器・構造物及び評価手法は、実用炉規則第82条第2項に規定する運転開始後40年を迎える発電用原子炉に係る発電用原子炉施設についての経年劣化に関する技術的な評価におけるものと同様とする。特に運転期間延長認可申請に伴うものとして評価を行い、その結果の記載が求められる事項は次のとおり。</p> <p>①上記3.1の特別点検の結果を踏まえた劣化状況評価。</p> <p>④実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年原子力規制委員会規則第6号。以下「技術基準規則」という。）（運転開始以後40年を経過する日において適用されているものに限る。）に定める基準に照らした評価。</p> <p>3.3(1)「延長しようとする期間における原子炉その他の設備に係る施設管理方針」（以下「施設管理方針」という。）の策定に係る手法は、実用炉規則第82条第2項に規定する運転開始後40年を迎える発電用原子炉に係る発電用原子炉施設についての施設管理に関する方針の策定と同様とする。特に運転期間延長認可申請に伴い策定するものとして記載が求められる事項は次のとおり。</p> <p>①上記3.2の劣化状況評価を踏まえた施設管理方針。</p>

表 1 (2/2) 耐津波安全性評価についての要求事項

審査基準、ガイド	要求事項
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド</p>	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1)高経年化技術評価の審査</p> <p>⑩-2 耐津波安全性の評価</p> <p>実施ガイド3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、経年劣化事象の発生又は進展に伴う浸水防護施設に属する機器等の耐津波安全性を評価しているかを審査する。</p> <p>⑪-2 耐津波安全上の現状保全の評価</p> <p>耐津波安全性に対する現状の保全策の妥当性を評価しているかを審査する。</p> <p>⑫-2 耐津波安全上の追加保全策の策定</p> <p>想定した経年劣化事象に対し、耐津波安全性が確保されない場合に、現状保全に追加する必要がある新たな保全策を適切に策定しているかを審査する。</p> <p>(2)長期施設管理方針の審査</p> <p>①長期施設管理方針の策定</p> <p>すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。</p>
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド</p>	<p>3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し</p> <p>高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>⑦耐津波安全上考慮する必要がある経年劣化事象については、経年劣化を加味した機器・構造物の耐津波安全性評価を行い、必要に応じ追加保全策を抽出すること。</p> <p>3.2 長期施設管理方針の策定及び変更</p> <p>長期施設管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期施設管理方針を策定すること。</p>

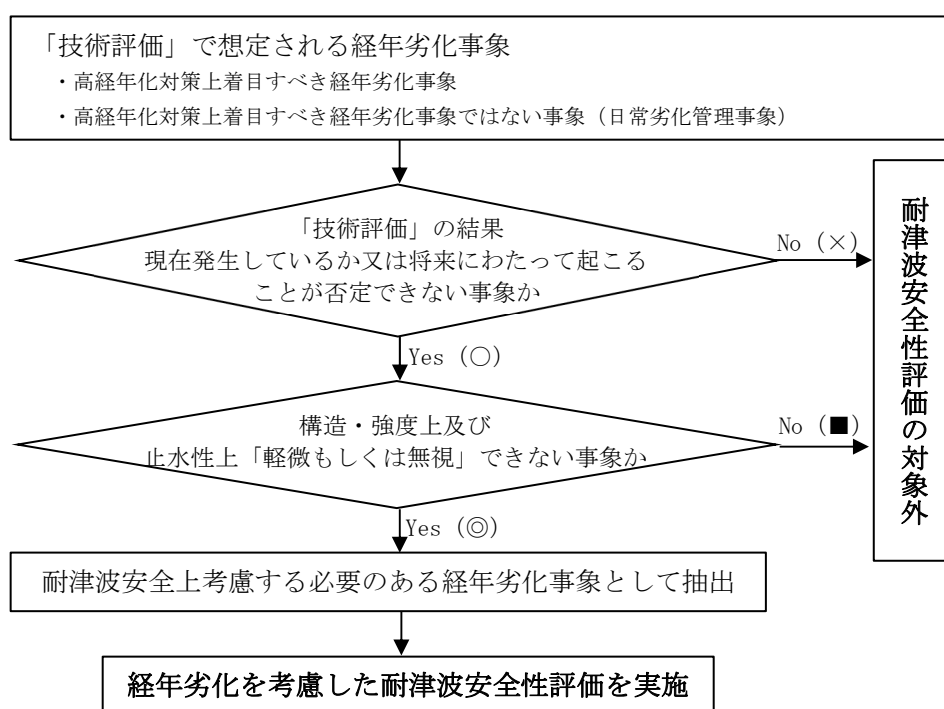
3. 評価対象と評価手法

(1) 評価対象

「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」(原子力規制委員会、平成 25 年 6 月 19 日)において津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備等が耐津波設計対象とされていることから、「技術評価」の対象機器・構造物のうち浸水防護施設を評価対象とし、そのうち、津波による浸水高、又は波力等による影響を受けると考えられるものを耐津波安全性評価の評価対象設備とする。

(2) 評価手法

津波を受ける浸水防護施設に対し、耐津波安全性に影響を及ぼす可能性がある経年劣化事象を抽出し、経年劣化を考慮した耐津波安全性評価を実施している。図 1 に評価フローを、表 2 に評価に使用する基準津波高さを示す。



- ：評価対象（現在発生しているか、又は将来にわたって起こることが否定できない事象）
- ×：評価対象から除外（現在発生しておらず今後発生の可能性がない、又は小さい事象）
- ：評価対象から除外（現在発生しているか、又は将来にわたって起こることが否定できないが、構造・強度上及び止水性上「軽微もしくは無視」できる事象）
- ◎：耐津波安全上考慮する必要がある経年劣化事象として抽出

図 1 耐津波安全性評価の評価フロー

表 2 評価に使用する基準津波高さ*1

取水口位置での最大水位変動量（初期潮位：T.P. ±0.00 m）	
上昇側	下降側
+3.52m	-3.80m

*1：原子炉設置変更許可（平成 26 年 9 月）にて設定された基準津波高さ

4. 耐津波安全性評価

(1) 耐津波安全性評価

川内2号炉の耐津波安全性評価の評価対象設備は表3のとおりであり、その抽出プロセス、浸水防護施設の概要を別紙1に示す。

表3 川内2号炉の耐津波安全性評価の評価対象設備

設備			浸水防護施設の区分
弁	リフト逆止弁	原子炉補機冷却海水系統リフト逆止弁	浸水防止設備
		2次系ドレン系統リフト逆止弁	
コンクリート構造物及び鉄骨構造物	鉄骨構造物	原子炉補助建屋水密扉	浸水防止設備
計測制御設備	プロセス計測制御設備	取水ピット水位	津波監視設備
計測制御設備	制御設備	津波監視カメラ	津波監視設備

川内2号炉の浸水防護施設に想定される高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

また、浸水防護施設に想定される経年劣化事象について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象に対する耐津波安全上考慮すべき必要のある経年劣化事象の抽出結果を表4に示す。図1の評価フローに従い抽出された耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象には表4中に◎を印す。

なお、浸水防護施設に使用される止水材料（原子炉補助建屋水密扉の水密ゴム）は、定期取替品として計画されていることから、劣化状況評価対象外としている。

表 4 (1/2) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象に対する耐津波安全上考慮すべき必要のある経年劣化事象の抽出結果

浸水防護施設		経年劣化事象	耐津波安全上考慮すべき必要のある経年劣化事象の抽出結果	
			事象区分	判断理由
弁	原子炉補機冷却海水系 統リフト逆止弁	弁箱等の応力腐食割れ	■	塗装の管理を行っており、仮に腐食が発生しても、現状保全によって管理される程度の範囲の進行では耐津波安全性への影響は軽微であることから、耐津波安全性に影響を与えるものではない。
弁	原子炉補機冷却海水系 統リフト逆止弁 2次系ドレン系統リフ ト逆止弁	弁体、弁箱弁座部(シー ト面)の摩耗	■	弁体、弁箱弁座部シート面の摩耗については、目視により状態を確認しており、管理される程度の範囲での進行では耐津波安全性への影響は軽微であることから、耐津波安全性に影響を与えるものではない。
コンクリート 構造物及び鉄 骨構造物	原子炉補助建屋水密扉	鉄骨の強度低下	■	目視確認による健全性確認を実施しており、仮に腐食が発生しても、現状保全によって管理される程度の範囲の進行では、断面減少による応力増加への影響は軽微であることから、耐津波安全性に影響を与えるものではない。
計測制御設備	取水ピット水位	筐体、スタンション、ベ ースプレート、サポー ト及びチャンネルベー スの腐食(全面腐食)	■	塗装の管理を行っており、仮に腐食が発生しても、現状保全によって管理される程度の範囲の進行では耐津波安全性への影響は軽微であることから、耐津波安全性に影響を与えるものではない。
計測制御設備	津波監視カメラ	筐体、チャンネルベー ス、取付ボルト及び架 台の腐食(全面腐食)	■	塗装の管理を行っており、仮に腐食が発生しても、現状保全によって管理される程度の範囲の進行では耐津波安全性への影響は軽微であることから、耐津波安全性に影響を与えるものではない。

■：現在発生しているか、又は将来にわたって起こることが否定できないが、機器・構造物の構造・強度上及び止水性上「軽微もしくは無視」できるもの

表 4 (2/2) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象に対する耐津波安全上考慮すべき必要のある経年劣化事象の抽出結果

浸水防護施設		経年劣化事象	耐津波安全上考慮すべき必要のある経年劣化事象の抽出結果	
			事象区分	判断理由
計測制御設備	取水ピット水位	取付ボルトの腐食（全面腐食）	■	塗装の管理を行っており、仮に腐食が発生しても、現状保全によって管理される程度の範囲の進行では耐津波安全性への影響は軽微であることから、耐津波安全性に影響を与えるものではない。
計測制御設備	取水ピット水位	保護管等接液部の腐食（孔食及び隙間腐食）	■	日常の保全活動により機器の健全性を維持しており、現状保全によって管理される程度の範囲の進行では断面減少による応力増加への影響は軽微であることから、耐津波安全性に影響を与えるものではない。
計測制御設備	取水ピット水位 津波監視カメラ	基礎ボルトの腐食（全面腐食）	◎	大気接触部の腐食については、腐食を想定した場合、断面減少による剛性低下は有意であるため、耐津波安全上考慮する必要がある経年劣化事象として抽出する。

◎：耐津波安全上考慮する必要がある経年劣化事象

■：現在発生しているか、又は将来にわたって起こることが否定できないが、機器・構造物の構造・強度上及び止水性上「軽微もしくは無視」できるもの

(2) 経年劣化事象を考慮した耐津波安全性評価

表4にて抽出された耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象に対して耐津波安全性評価を実施する。

1) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）に対する耐津波安全性評価

[取水ピット水位、津波監視カメラ]

a. 取水ピット水位の基礎ボルトの評価

取水ピット水位の基礎ボルトについて、ボルトに腐食を考慮して津波時の発生応力を算出し評価した。

結果は、表5に示すとおりであり、津波時の応力比は1以下であり、耐津波安全性評価上問題はない。

表5 川内2号炉 基礎ボルトの腐食に対する評価結果

機種	機器名	評価部位	荷重種別	荷重の有・無 ^{*1}	応力比 ^{*2}
計測制御設備	取水ピット水位	基礎ボルト	引張荷重	○	0.31
			せん断荷重	○	0.14

*1：○有 ×無

*2：応力比＝一次応力／許容応力

b. 津波監視カメラの基礎ボルトの評価

津波監視カメラの基礎ボルトについては、後打ちアンカ（ケミカルアンカ）を使用している。

後打ちアンカは、各ボルトサイズの設計時の最大許容荷重が定められており、この値以上の荷重がボルトに作用しないように施工されている。ここでは、津波監視カメラに使用されている後打ちアンカについて、最大許容荷重が津波時に発生した場合を仮定し、ボルトに腐食を考慮した応力評価を実施した。

結果は、表6に示すとおりであり、最大許容荷重が津波時に発生した場合を想定しても、津波時の応力比は1以下であり、耐津波安全性評価上問題はない。

表6 川内2号炉 基礎ボルトの腐食に対する評価結果

機種	機器名	ボルト呼び径	荷重種別	最大許容荷重(N)	応力比*1
計測制御設備	津波監視カメラ	M36	引張荷重	111.5×10^3	0.81
			せん断荷重	89.6×10^3	0.86

*1：応力比＝減肉後の一次応力／許容応力

(3) 保全対策に反映すべき項目の抽出

浸水防護施設においては、「技術評価」にて検討された保全対策に、耐津波安全性の観点から追加すべき項目はない。

5. まとめ

(1) 審査基準適合性

「2. 基本方針」で示した要求事項について耐津波安全性評価を行った結果、すべての要求を満足しており、審査基準に適合していることを確認した。耐津波安全性評価についての要求事項との対比を表7に示す。

(2) 長期施設管理方針として策定する事項

長期施設管理方針として策定する事項は抽出されなかった。

表7 耐津波安全性評価についての要求事項との対比 (1/3)

審査基準、ガイド	要求事項	耐津波安全性評価結果
<p>実用発電用原子炉の 運転の期間の延長の 審査基準</p>	<p>2. 実用炉規則第113条第2項第2号に掲げる原子炉その他の設備の劣化の状況に関する技術的な評価の結果、延長しようとする期間において、同評価の対象となる機器・構造物が下表に掲げる要求事項（以下「要求事項」という。）に適合すること、又は同評価の結果、要求事項に適合しない場合には同項第3号に掲げる延長しようとする期間における原子炉その他の設備に係る施設管理方針の実施を考慮した上で、延長しようとする期間において、要求事項に適合すること。</p> <p>○経年劣化事象を考慮した機器・構造物について、津波時に発生する応力等を評価した結果、許容限界を下回ること。</p>	<p>4. (2)に示すとおり、考慮すべき経年劣化事象に対し津波時に発生する応力を評価し、延長しようとする期間において、許容限界を下回っていることを確認した。</p>
<p>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</p>	<p>3.2(1)「延長しようとする期間における運転に伴い生ずる原子炉その他の設備の劣化の状況に関する技術的な評価」（以下「劣化状況評価」という。）の記載内容について評価の対象とする機器・構造物及び評価手法は、実用炉規則第82条第2項に規定する運転開始後40年を迎える発電用原子炉に係る発電用原子炉施設についての経年劣化に関する技術的な評価におけるものと同様とする。特に運転期間延長認可申請に伴い策定するものとして記載が求められる事項は次のとおり。</p> <p>①上記3.1の特別点検の結果を踏まえた劣化状況評価。</p> <p>④実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年原子力規制委員会規則第6号。以下「技術基準規則」という。）（運転開始以後40年を経過する日において適用されているものに限る。）に定める基準に照らした評価。</p> <p>3.3(1)「延長しようとする期間における原子炉その他の設備に係る施設管理方針」（以下「施設管理方針」という。）の策定に係る手法は、実用炉規則第82条第2項に規定する運転開始後40年を迎える発電用原子炉に係る発電用原子炉施設についての施設管理に関する方針の策定と同様とする。特に運転期間延長認可申請に伴い策定するものとして記載が求められる事項は次のとおり。</p> <p>①上記3.2の劣化状況評価を踏まえた施設管理方針。</p>	<p>3. (1)及び3. (2)に示すとおり、耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出フローにより、耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象を抽出した結果、耐津波安全性に関して特別点検によって確認する事項はなかった。</p> <p>4. (2)に示すとおり、考慮すべき経年劣化事象に対し津波時に発生する応力を評価し、延長しようとする期間において、許容限界を下回っていることを確認した。</p> <p>4. (3)に示すとおり、追加保全策については抽出されないため、長期施設管理方針に高経年化対策の視点から充実すべき施設管理の項目はないと評価した。</p>

表7 耐津波安全性評価についての要求事項との対比 (2/3)

審査基準、ガイド	要求事項	耐津波安全性評価結果
実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド	3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点 (1) 高経年化技術評価の審査 ㊸-2 耐津波安全性の評価 実施ガイド3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、経年劣化事象の発生又は進展に伴う浸水防護施設に属する機器等の耐津波安全性を評価しているかを審査する。	4. (2)に示すとおり、考慮すべき経年劣化事象に対し津波時に発生する応力を評価し、延長しようとする期間において、許容限界を下回っていることを確認した。
	㊸-2 耐津波安全上の現状保全の評価 耐津波安全性に対する現状の保全策の妥当性を評価しているかを審査する。	
	㊸-2 耐津波安全上の追加保全策の策定 想定した経年劣化事象に対し、耐津波安全性が確保されない場合に、現状保全に追加する必要のある新たな保全策を適切に策定しているかを審査する。	4. (3)に示すとおり、現状保全項目に耐津波安全性の観点から追加すべき項目はないと判断した。
	(2) 長期施設管理方針の審査 ① 長期施設管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。	

表7 耐津波安全性評価についての要求事項との対比 (3/3)

審査基準、ガイド	要求事項	耐津波安全性評価結果
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド</p>	<p>3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>⑦耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象については、経年劣化を加味した機器・構造物の耐津波安全性評価を行い、必要に応じ追加保全策を抽出すること。</p> <hr/> <p>3.2 長期施設管理方針の策定及び変更 長期施設管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>① 高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。</p>	<p>4. (3)に示すとおり、現状保全項目に耐津波安全性の観点から追加すべき項目はないと判断した。</p>

別紙

- 別紙 1. 耐津波安全性評価の評価対象設備の、具体的な抽出根拠、抽出プロセス及び評価内容について
- 別紙 2. 取水ピット水位の耐津波安全性評価について
- 別紙 3. 貫通部止水処置の技術評価と現状保全について
- 別紙 4. 津波監視カメラの耐津波安全性評価について

タイトル	耐津波安全性評価の評価対象設備の、具体的な抽出根拠、抽出プロセス及び評価内容について
説明	<p>川内2号炉の耐津波安全性評価対象とした設備について、経年劣化事象の抽出や耐津波安全性評価の要否判断などのプロセスを示す。</p> <p>1. 浸水防護施設について 耐津波安全性評価対象とした浸水防護施設（浸水防止設備、津波監視設備）については以下のとおり。なお、浸水防護施設の概要を添付－1、津波監視設備の配置を添付－2に示す。</p> <p>(1) 浸水防止設備：原子炉補助建屋水密扉・・・a 原子炉補機冷却海水系統リフト逆止弁・・・b 2次系ドレン系統リフト逆止弁・・・c</p> <p>(2) 津波監視設備：取水ピット水位・・・d 津波監視カメラ・・・e</p> <p>2. 想定される劣化事象^{※1}</p> <p>(1) 鉄骨構造物 (a) a. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 (○事象) 該当なし b. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (△▲事象) ・腐食・・・① ・風などによる疲労・・・②</p> <p>(2) リフト逆止弁 (b, c) a. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 (○事象) 該当なし b. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (△▲事象) ・応力腐食割れ・・・③ ・摩耗・・・④ ・基礎ボルトの劣化（ケミカルアンカ）・・・⑤</p> <p>(3) プロセス計測制御設備 (d) a. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 (○事象) 該当なし b. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (△▲事象) ・腐食（筐体、スタンション、ベースプレート、サポート、チャンネルベース、取付ボルト及び架台保護管等の接液部）・・・⑥ ・腐食（基礎ボルト）・・・⑦</p> <p>(4) 制御設備 (e) a. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 (○事象) 該当なし b. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (△▲事象) ・腐食（筐体、チャンネルベース、取付ボルト及び架台）・・・⑧ ・腐食（基礎ボルト）・・・⑨</p> <p>※1：絶縁低下（絶縁体の水トリー劣化による絶縁低下を含む）、特性変化及び導通不良については、耐津波安全性に影響を及ぼすパラメータの</p>

変化とは無関係であるため記載は省略する。

3. 耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出

「2. 想定される劣化事象」で整理した経年劣化事象①～⑩について、耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象の有無について検討したプロセスを表 1-1 に整理した。

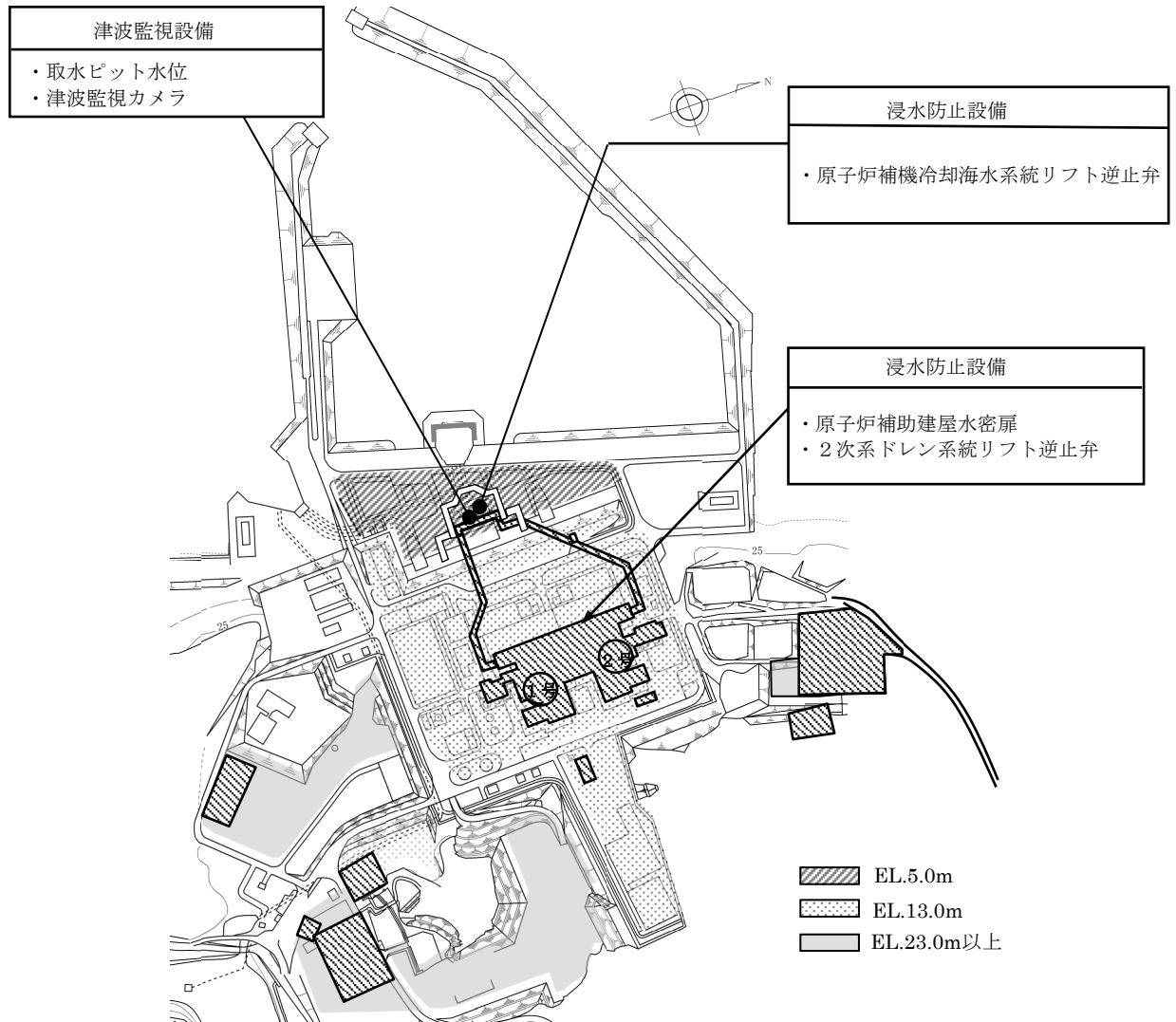
表 1-1 耐津波安全性を考慮する必要のある経年劣化事象の有無検討プロセス

「技術評価」で想定される経年劣化事象		ステップ1	ステップ2		ステップ3	
高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	下記 1)～2)を除く経年劣化事象	○	i	現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、又は小さいもの	×	×
			ii	現在発生しているか、又は将来にわたって起こることが否定できないもの	○	構造・強度上及び止水性上「軽微もしくは無視」できない事象 ◎ 構造・強度上及び止水性上「軽微もしくは無視」できる事象 ■
高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	1)* △	○	i	現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、又は小さいもの	—	—
	△		ii	現在発生しているか、又は将来にわたって起こることが否定できないもの	○	構造・強度上及び止水性上「軽微もしくは無視」できない事象 ◎ 構造・強度上及び止水性上「軽微もしくは無視」できる事象 ■ ①③④⑤⑧
	2)* ▲	—	—	②⑤	—	—

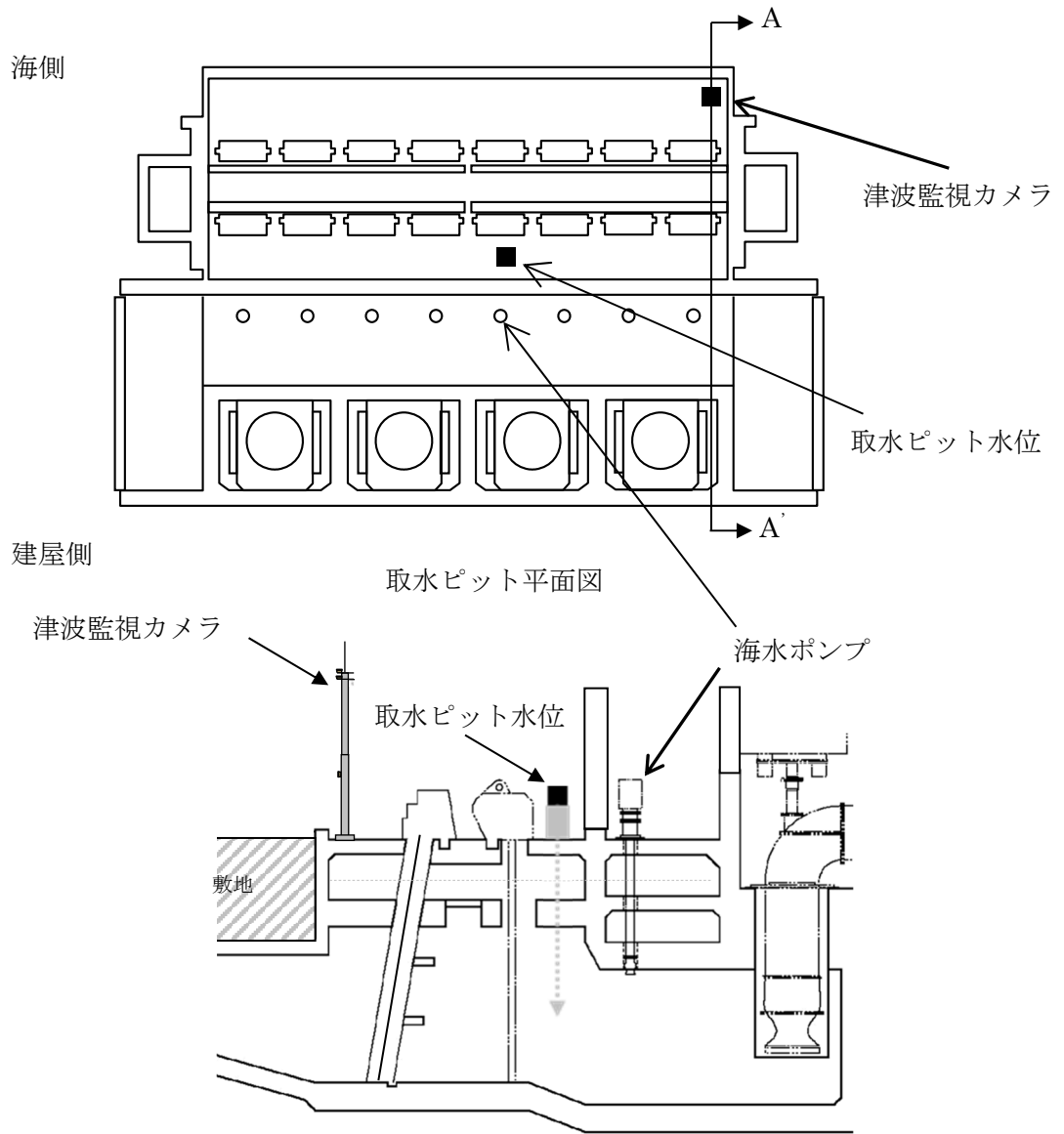
△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）
 ▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）
 ○：評価対象として抽出
 —：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象であり、日常劣化管理事象以外であるもの、あるいは日常劣化管理事象であるが、現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、又は小さいものとして評価対象から除外
 ×：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象であるが、現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、又は小さいものとして評価対象から除外
 ◎：耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象として抽出
 ■：構造・強度上及び止水性上「軽微もしくは無視」できる事象として評価対象から除外
 *：2)に該当するものであっても、保全活動によりその傾向が維持できていることを確認しているものは1)に含める。

以上より、川内2号炉の「浸水防護施設」については、◎となる対象は取水ピット水位、及び津波監視カメラの基礎ボルトの腐食であることから、経年劣化を考慮した耐津波安全性評価を実施する。

以上



浸水防護施設の概要



取水ピット断面図 (A-A' 断面)

津波監視設備の配置

タイトル	取水ピット水位の耐津波安全性評価について																
説明	<p>取水ピット水位の耐津波安全性評価について以下に示す。</p> <p>1. 評価仕様 評価に用いたデータを表2-1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表2-1 評価仕様</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">項目</th> <th style="padding: 2px;">単位</th> <th style="padding: 2px;">仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">基礎ボルトの評価温度</td> <td style="padding: 2px;">℃</td> <td rowspan="7" style="width: 100px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">質量</td> <td style="padding: 2px;">kg</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">基礎ボルト呼び径</td> <td style="padding: 2px;">—</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">基礎ボルト本数</td> <td style="padding: 2px;">本</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">基礎ボルト材質</td> <td style="padding: 2px;">—</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">減肉量 (直径)</td> <td style="padding: 2px;">mm</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 解析モデル 解析モデルは、取付架台及び保護管をシェル要素、はり要素にてモデル化した3次元FEMモデルである。解析モデル図を図2-1に示す。</p> <div style="border: 2px solid black; height: 300px; width: 100%; margin: 10px 0;"></div> <p style="text-align: center;">図2-1 解析モデル図</p>	項目	単位	仕様	基礎ボルトの評価温度	℃		質量	kg	基礎ボルト呼び径	—	基礎ボルト本数	本	基礎ボルト材質	—	減肉量 (直径)	mm
項目	単位	仕様															
基礎ボルトの評価温度	℃																
質量	kg																
基礎ボルト呼び径	—																
基礎ボルト本数	本																
基礎ボルト材質	—																
減肉量 (直径)	mm																

3. 入力（荷重）条件

取水ピット水位は、取水ピットに設置されており、その外側を防護堤により囲まれていることから、直接、遡上波やそれに伴う漂流物による影響を受けることは考えにくいと、保守的な評価として、津波時の評価としては、入力津波である遡上波による波力及び漂流物の衝突の組合せを考慮する。

(1) 遡上波による波力

① 取付架台に作用する津波荷重

取水ピット水位は取水ピット内に設置されていることから、設計に用いる遡上波の津波高さは、海水ポンプエリアの遡上波による津波高さとする。

津波荷重 P_t は、波力として作用するため、津波高さについて文献^(注)を参考に次式にて波力を三角形分布静水圧荷重に換算する。添付-1に津波荷重の作用イメージを示す。

三角形分布静水圧荷重として算定した津波荷重 P_t については、添付-1に示すとおり分布して作用すると考える。なお、ベースプレートの板厚は取付架台全長に対して十分小さいため、荷重負荷範囲外とする。



② 津波荷重の算出条件及び結果

遡上津波荷重の算出条件を表2-2に、各架台の下端位置となるA点～E点の各分布荷重を表2-3に示す。

表2-2 遡上津波荷重の算出条件

津波高さ (m)	設置場所 及び 床面高さ (m)	浸水 深さ H (m)	海水の 密度 ρ (kg/m ³)	水平波圧 指標 a	重力加速度 g (m/s ²)
					9.80665

表2-3 遡上津波荷重による分布荷重の算出結果

分布荷重位置	床上高さ z (m)	津波荷重 (N/m ²)
A	4.50	0
B	2.57	1.95×10 ⁴
C	2.47	2.06×10 ⁴
D	1.97	2.56×10 ⁴
E	0.032	4.52×10 ⁴

(2) 漂流物による衝突荷重

①取付架台に作用する衝突荷重

衝突荷重 P_c は次式により次式により算定する。



②衝突荷重の算出条件及び結果

衝突荷重の算出条件及び結果を表2-4に示す。

表2-4 衝突荷重の算出条件及び結果

漂流物の質量 W (t)	表面流速 V _d (m/s)	重力加速度 g (m/s ²)	衝突荷重 P _c (kN)
		9.80665	

3. 評価方法

①津波波力により生じる曲げモーメント

強度評価にあたっては、図2-2に示す津波波力による計算モデルのとおり、取付架台を片持ち梁に模擬したモデルを用いて荷重を算出する。計算モデルとの拘束条件は、架台下端は完全拘束、取付架台上端は自由端とする。

計算において、A点～E点の分布荷重を基に、各架台の荷重作用位置L1'～L4'に、各架台の分布荷重を集中荷重F1～F4として作用させ、次頁の式を用いて固定端である取付架台の最下端部（A端）における曲げモーメント M_{A1} を求める。遡上津波による集中荷重と作用位置を表2-5に示す。

$$M_{A1} = F1 \cdot L1' + F2(L1 + L2') + F3(L1 + L2 + L3') + F4(L1 + L2 + L3 + L4')$$

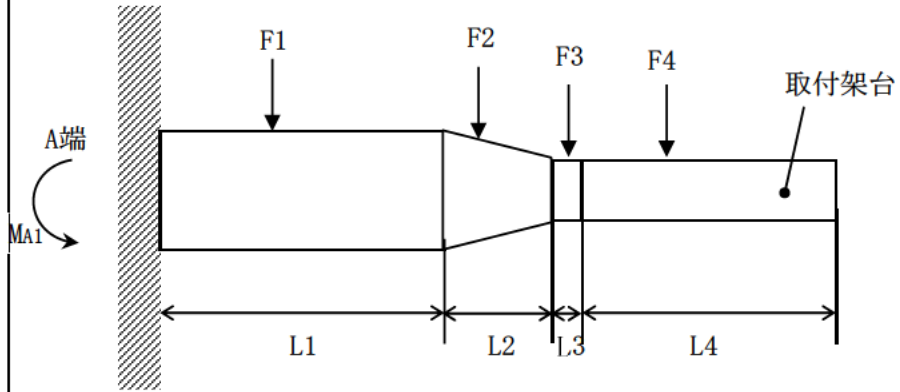


図2-2 津波波力による計算モデル

表2-5 遡上津波による集中荷重と作用位置

集中荷重 (N)	各架台寸法 (mm)	各架台の下端からの荷重作用位置 (mm)
F1	L1	L1'
F2	L2	L2'
F3	L3	L3'
F4	L4	L4'

①衝突荷重により生じる曲げモーメント

衝突荷重 P_c が取付架頂部に作用した場合、曲げモーメント M_{A2} については次式より算出する。衝突荷重は、保守的に取付架台の最高高さに作用することとする。

$$M_{A2} = P_c(L1 + L2 + L3 + L4)$$

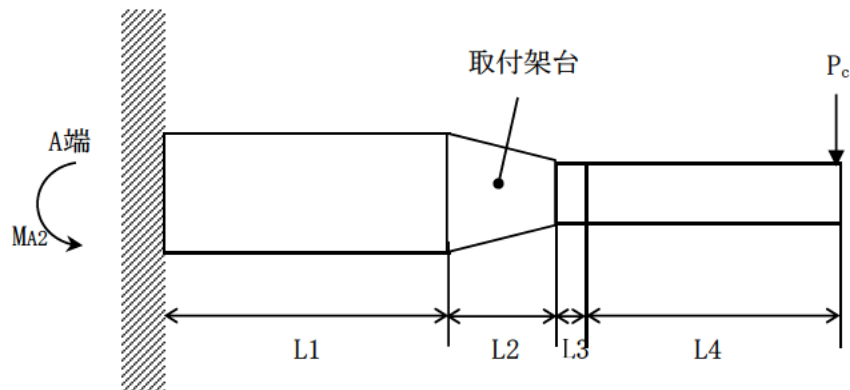


図2-3 衝突荷重の作用位置

③基礎ボルトに生じる荷重

基礎ボルト全数nのうち曲げモーメントによる引張荷重を受け持つボルト数をn'とし、せん断荷重がボルト全数nに生じるものとする。基礎ボルト1本あたりに生じる引張荷重とせん断荷重は、次式を用いて計算する。表2-6に基礎ボルトの荷重計算に用いる条件、表2-7に基礎ボルトに生じる荷重を示す。

(a) 引張荷重

$$Hm = \frac{M_A}{2 \cdot r \cdot n'}$$

(b) せん断荷重

$$Hh = \frac{F1 + F2 + F3 + F4 + P_c}{n}$$

表 2-6 基礎ボルトの荷重計算に用いる条件

ボルト全数 n	引張荷重を受け持つ ボルト数 n'	取付架台の中心から 基礎ボルトまでの距離 r (mm)

表 2-7 基礎ボルトに生じる荷重

津波波力により生じる曲げモーメント M_{A1}	
衝突荷重により生じる曲げモーメント M_{A2}	
取付架台の最下端部に生じる曲げモーメント $M_A (M_{A1} + M_{A2})$	
基礎ボルトに生じる引張荷重 Hm	
基礎ボルトに生じるせん断荷重 Hh	

④基礎ボルトに生じる応力

基礎ボルトに生じる応力は、FEMモデルを用いた解析により算出した荷重(常時作用する荷重、風荷重等)と、手計算により算出した津波時に生じる荷重(上記③)を絶対値和し、その値をボルトの断面積で除することで算出する。

表 2-8 基礎ボルト一本当たりに作用する最大荷重

評価部位	引張力 F _t (N)	せん断力 F _s (N)
①常時作用する荷重、風荷重等 (FEMにより算出)		
②津波時に生じる荷重		
基礎ボルトに生じる荷重 (①+②)		

a. 引張応力 (MPa)

$$\sigma = \frac{F_t}{A}$$

F_t : ボルト一本当たりに作用する引張力
A : ボルト断面積 (直径 0.6mm の減肉考慮)

b. せん断応力 (MPa)

$$\tau = \frac{F_s}{A}$$

F_s : ボルト一本当たりに作用するせん断力
A : ボルト断面積 (直径 0.6mm の減肉考慮)

4. 評価結果

評価結果を表に示す。

表 2-9 基礎ボルト評価結果

評価部位	応力の種類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比
基礎ボルト	引張応力			0.31
	せん断応力			0.14

5.

(1) ボルト材質

ボルト材質	Sy	Su

(2) 引張応力に対する許容応力

• $F = \text{Min}(S_y, 0.7S_u) = \text{Min}(\quad) = \quad \text{MPa}$

• $f_t^* = F/2 = \quad / 2 = \quad \text{MPa}$

$\Rightarrow 1.5f_t^* = 1.5 \times \quad = \quad \text{MPa}$

(3) せん断応力に対する許容応力

• $F = \text{Min}(S_y, 0.7S_u) = \text{Min}(\quad) = \quad \text{MPa}$

• $f_t^* = F/1.5\sqrt{3} = \quad / 1.5\sqrt{3} = \quad \text{MPa}$

$\Rightarrow 1.5f_t^* = 1.5 \times \quad = \quad \text{MPa}$

(4) せん断応力と引張応力の組合せ許容応力

• せん断応力 (Ss) $\tau = \quad \text{MPa}$

$\Rightarrow 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau$

$= 1.4 \times \quad - 1.6 \times \quad$

$= \quad = \quad \text{MPa} \geq \quad (=1.5f_t^*)$

組合せ許容応力 $= \quad \text{MPa}$

6. 取付架台の構造及び設置状態

添付-2に取付架台の構造及び設置状態を示す。

取付架台の設置床には貫通口があり、津波により水位が上昇すると、架台内部に水が浸入することは考えられるものの、直接ベースプレートに水圧（浮力）がかかる構造ではない。

また、上部は貫通部が設けられているため、水位が上昇したとしても、内圧が上昇する等の事象は生じない。

以上

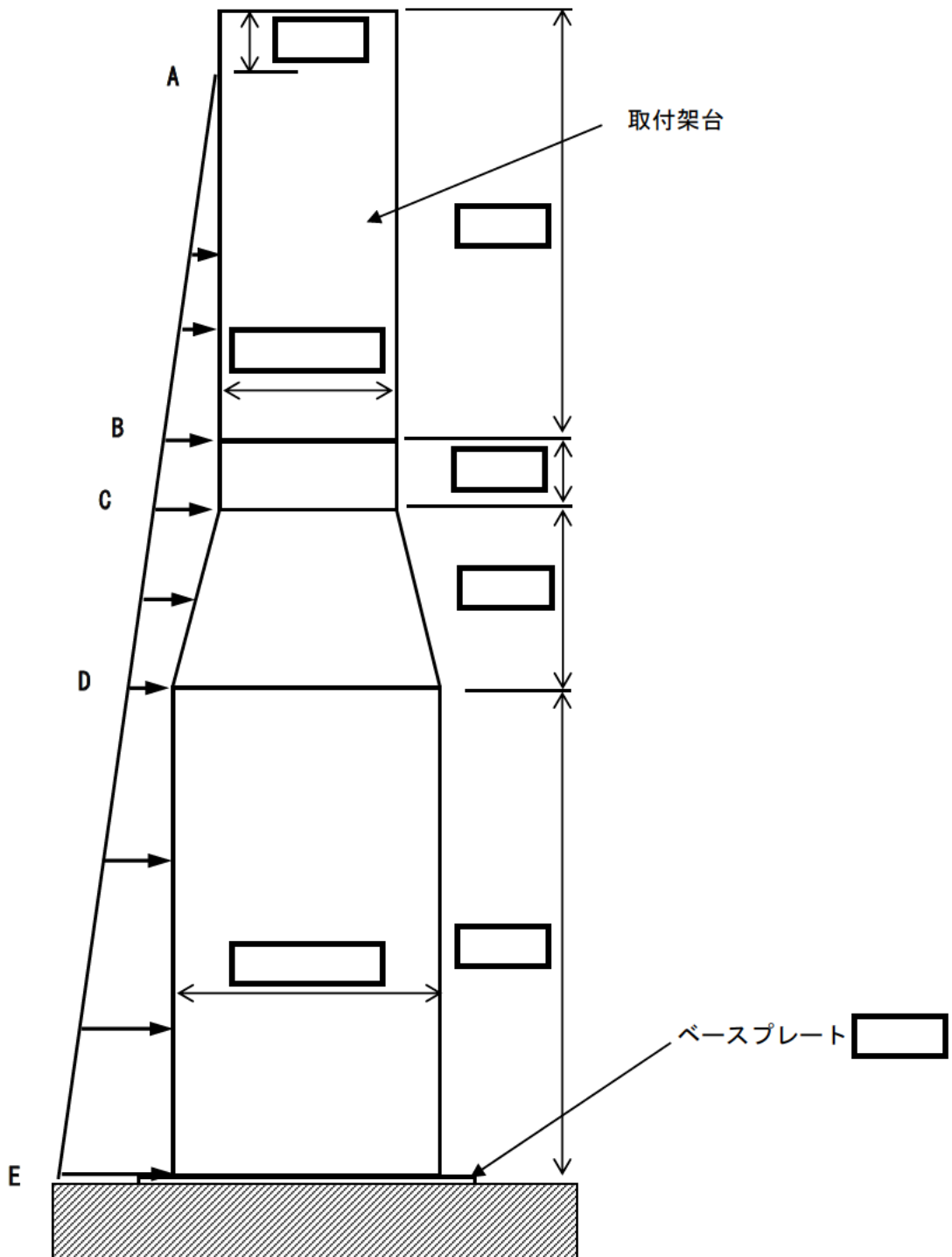


図 取付架台に作用する津波荷重のイメージ

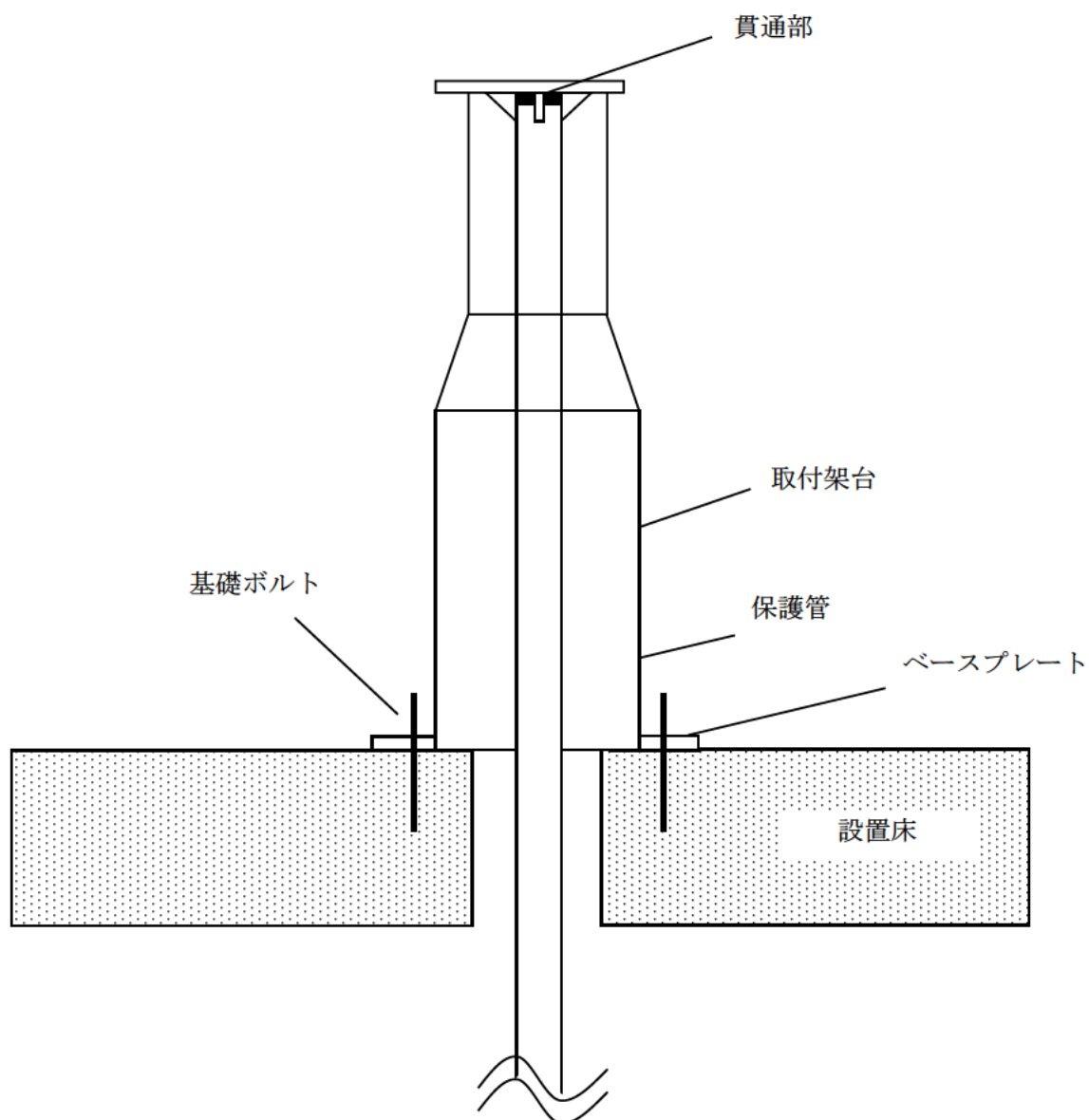


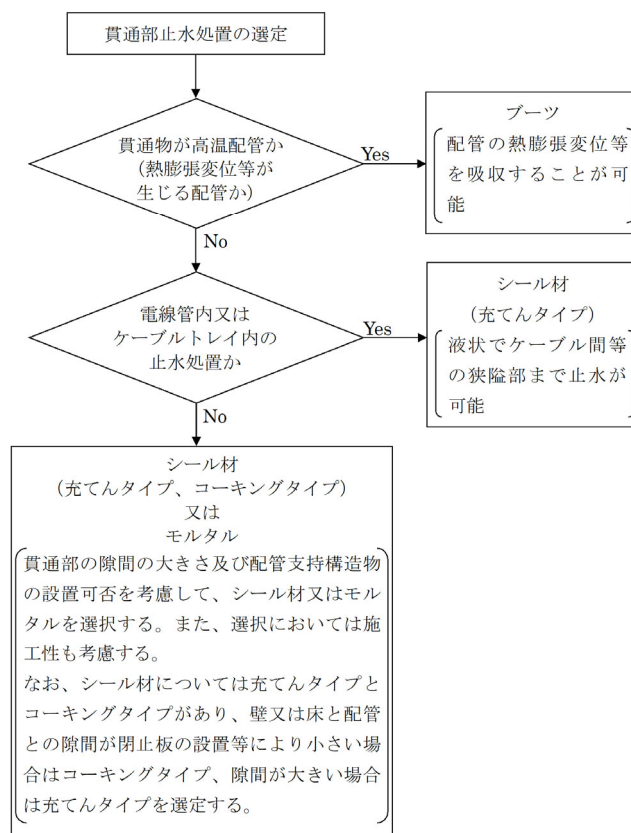
図 取付架台の構造及び設置状態

<p>タイトル</p>	<p>貫通部止水処置の技術評価と現状保全について</p>
<p>説明</p>	<p>1. 技術評価</p> <p>新規制基準適合性審査において新たに追加された設備や評価方法等については、高経年化技術評価に反映が必要な事項の抽出を行っており、2015年6月15日に実施された川内1号炉の高経年化技術評価に係る審査会合「工事計画認可により追加評価が必要となる事項について」において説明している。</p> <p>高経年化技術評価に反映が必要な事項として、工事計画認可申請書本文（要目表及び基本設計方針）に記載の全ての設備を対象に、以下のフローに基づき抽出している。</p> <pre> graph TD Start[工事計画認可申請書本文(要目表、設計基本方針)に記載があるか] --> D1{常設設備か} D1 -- N --> Box1[可搬設備、運用、仕様、消耗品(抽出対象外)] D1 -- Y --> D2{既PLM審査対象でない設備か} D2 -- N --> Box2[追加対象外(これまで通り)評価を実施] D2 -- Y --> D3{SA設備か} D3 -- N --> D4{安全重要度分類クラス1、2、3(高温、高圧)に相当すると考えられるか} D3 -- Y --> Box3[追加評価対象設備(評価書記載設備)] D4 -- N --> D5{耐津波安全性評価に必要な設備か} D4 -- Y --> Box3 D5 -- N --> Box4[追加評価対象設備(自主評価設備)] D5 -- Y --> Box3 </pre> <p>約800 <例> ・常設電動注入ポンプ ・大容量空冷式発電機 ・貯留堰</p> <p>約300 <例> ・可搬型照明 ・空調用フィルタの清掃・取替 ・炉心有効高さ ・ほう酸</p> <p>約300 <例> ・原子炉容器 ・充てん/高圧注入ポンプ・電動機</p> <p>約110(うち新規は約50) <例> ・発電機、変圧器 ・使用済燃料ビットポンプ <新規の例> ・余熱除去ポンプ出口流量計 ・作業用照明</p> <p>約10 <例> ・海水ポンプエア防護壁 ・水密扉 ・床ドレンライン逆止弁 ・(津波監視カメラ(2号設備))</p> <p>追加評価対象設備(評価書記載設備)</p> <p>追加評価対象設備(自主評価設備)</p> <p>評価に追加する設備の抽出フロー</p>

抽出フローにおいて、常設設備を追加評価の対象としており、劣化や不具合等が認められた場合に取替等の保全が可能な可搬設備や、設備ではない記載（運用、仕様、消耗品）については評価対象外としている。

貫通部止水処置については、工事計画認可申請書のうち浸水防護施設の基本設計方針に記載されているが、高経年化技術評価においては常設設備ではない「運用」として整理している。そのため、川内2号PLM30では抽出フローに従い評価対象外としており、今回の劣化状況評価においてもその整理に変更はない。

なお、貫通部止水処置は、貫通物、貫通部の配置及び形状により以下のフローとおり適切な構造を選定している。



貫通部止水処置の選定フロー

2. 現状保全

貫通部止水処置については、構造強度及び止水機能に支障をきたす可能性のあるような剥離やひび割れ等の有意な欠陥がないことを外観点検により定期的に確認している。また、これらの欠陥については外観点検で検知可能であり、シール材・モルタルについては亀裂性状に応じて補修の実施、ブーツについては取替え等の補修が考えられることから、現状保全を継続することにより健全性の維持は可能である。

以上

タイトル	津波監視カメラの耐津波安全性評価について															
説明	<p>川内 2 号炉の津波監視カメラの津波時に生じる荷重について以下に示す。</p> <p>1. 基礎ボルトの仕様 荷重の算出に用いたデータを表1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 基礎ボルト仕様</p> <table border="1" data-bbox="497 725 1264 943"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>単位</th> <th>仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>基礎ボルトの評価温度</td> <td>℃</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>基礎ボルト呼び径</td> <td>—</td> <td>M36</td> </tr> <tr> <td>基礎ボルト本数</td> <td>本</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>減肉量 (直径)</td> <td>mm</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 入力 (荷重) 条件 津波監視カメラは、取水ピットに設置されており、その外側を防護堤により囲まれていることから、直接、遡上波やそれに伴う漂流物による影響を受けることは考えにくい。しかし、津波時の保守的な評価として、入力津波である遡上波による波力及び漂流物の衝突の組合せ等を考慮した評価を実施している。自重及び雪荷重については、鉛直方向成分のみであり、床部 (基礎ボルト部) に生じる曲げモーメント及びせん断力に寄与しないため、本計算において考慮する荷重の組合せは以下の通りとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遡上波による波力 ・漂流物による衝突荷重 ・風荷重 <p>(1) 遡上波による波力 ①津波監視カメラ設置用鉄柱に作用する津波荷重 津波監視カメラは取水ピット内に設置されていることから、設計に用いる遡上波の津波高さは、海水ポンプエリアの遡上波による津波高さとする。 津波荷重P_tは、波力として作用するため、津波高さについて文献^(注)を参考に次式にて波力を三角形分布静水圧荷重に換算する。添付-1に津波荷重の作用イメージを示す。 三角形分布静水圧荷重として算定した津波荷重P_tについては、添付-1に示すとおり分布して作用すると考える。</p>	項目	単位	仕様	基礎ボルトの評価温度	℃	40	基礎ボルト呼び径	—	M36	基礎ボルト本数	本	16	減肉量 (直径)	mm	
項目	単位	仕様														
基礎ボルトの評価温度	℃	40														
基礎ボルト呼び径	—	M36														
基礎ボルト本数	本	16														
減肉量 (直径)	mm															

②津波荷重の算出条件及び結果

遡上津波荷重の算出条件を表2に、各区分における算出結果を表3に示す。

表2 遡上津波荷重の算出条件

津波高さ (m)	設置場所 及び 床面高さ (m)	浸水 深さ H (m)	海水の 密度 ρ (kg/m ³)	水平波圧 指標 a	重力加速度 g (m/s ²)
EL. 6.0	取水ピット EL. 4.5	1.5	1,030	3	9.80665

表3 遡上津波荷重による分布荷重の算出結果

部位	高さ		波圧の荷重		せん断力 Q_i (kN)	曲げ モーメント M_i (kN・m)	
	区分 境界 z_i (床上) (m)	区分 中央 z_s (床上) (m)	波圧 q_s (kN/m ²)	面積 A_p (区分) (m ²)			
柱部	18	4.50	4.375	1.27	0.153	0.10	0.00
	17	4.25	4.125	3.79	0.153	0.49	0.03
	16	4.00	3.875	6.32	0.153	1.27	0.15
	15	3.75	3.625	8.84	0.153	2.44	0.47
	14	3.50	3.375	11.37	0.153	3.99	1.08
	13	3.25	3.125	13.89	0.153	5.93	2.08
	12	3.00	2.875	16.42	0.153	8.26	3.56
	11	2.75	2.625	18.94	0.153	10.97	5.62
	10	2.50	2.375	21.47	0.153	14.07	8.37
	9	2.25	2.125	23.99	0.153	17.56	11.88
	8	2.00	1.875	26.52	0.153	21.43	16.27
	7	1.75	1.625	29.04	0.153	25.69	21.63
	6	1.50	1.375	31.57	0.153	30.34	28.05
	5	1.25	1.125	34.10	0.153	35.37	35.64
	4	1.00	0.875	36.62	0.153	40.79	44.48
	3	0.75	0.625	39.15	0.153	46.59	54.68
	2	0.50	0.375	41.67	0.153	52.78	66.33
	1	0.25	0.125	44.20	0.153	59.36	79.52
	床	0.00	—	—	—	62.75	94.36

(2) 漂流物による衝突荷重

- ①津波監視カメラ設置用鉄柱に作用する衝突荷重
衝突荷重 P_c は次式により算定する。



P_c : 衝突荷重 [kN]

W_d : 衝突荷重算出時に用いる漂流物の重量 [kN]

②衝突荷重の算出条件及び結果

衝突荷重の算出条件を表4に、各区分における算出結果を表5に示す。

表4 衝突荷重の算出条件

漂流物 衝突位置 (m)	漂流物質量 W (t)	衝突速度 V _d (m/s)	重力加速度 g (m/s ²)
EL. 8.0	3.0	2.0	9.80665

表5 衝突荷重の算出結果

部位	高さ 区分境界 z _i (床) (m)	衝突物 の荷重	応力		
		P _c (kN)	せん断力 Q _i (kN)	曲げモーメント M _i (kN・m)	
柱部	14	3.50	6.00	6.00	0.00
	13	3.25	—	6.00	1.50
	12	3.00	—	6.00	3.00
	11	2.75	—	6.00	4.50
	10	2.50	—	6.00	6.00
	9	2.25	—	6.00	7.50
	8	2.00	—	6.00	9.00
	7	1.75	—	6.00	10.50
	6	1.50	—	6.00	12.00
	5	1.25	—	6.00	13.50
	4	1.00	—	6.00	15.00
	3	0.75	—	6.00	16.50
	2	0.50	—	6.00	18.00
	1	0.25	—	6.00	19.50
床	0.00	—	6.00	21.00	

(3) 風荷重

①津波監視カメラ設置用鉄柱に作用する風荷重
風荷重 P_k は、次式により算定する。

$$P_k = q \cdot C_f \cdot A_k$$
$$q = 0.6E \cdot V_0^2$$
$$E = Er^2 \cdot Gf$$

P_k : 風荷重 [kN]
 q : 速度圧 [N/m²]
 C_f : 風力係数
 k_z : 風荷重計算時の係数
 A_k : 受風面積 [m²]
 E : 建設省告示第1454号に定められる数値
 V_0 : 基準風速 [m/s]
 Er : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数
 Gf : ガスト影響係数

②風荷重の算出条件及び結果

風荷重の算出条件を表6に、各区分における算出結果を表7に示す。

表6 風荷重の算出条件

基準風速 V_0 (m/s)	地面粗度 区分	鉄柱高さ H_t (m)	地表面粗度 区分に応じた 係数 Z_b	地表面粗度 区分に応じた 係数 Z_G
36.0	II	13.3	5	350

地表面粗度 区分に応じた 係数 α	ガスト影響 係数 Gf	風力係数 C_f	
		鋼管部	鋼管部以外
0.15	1.0	0.9 k_z	2.0 k_z

表7 風荷重による分布荷重の算出結果

部位		高さ z _i (m)	鋼管部の風荷重				鋼管部以外の 風荷重				風荷重の 和	応力		
			kz	Cf	A _k (m ²)	P _{ki} (kN)	kz	Cf	A _k (m ²)	P _{ki} (kN)	P _k (kN)	せん断力 Q _i (kN)	曲げモー メントM _i (kN・m)	
避雷針部	上部	34	15.8	1.050	0.945	0.046	0.02	1.054	—	—	—	0.02	0.02	0.00
		33	15.4	1.041	0.937	0.058	0.05	1.045	—	—	—	0.05	0.07	0.01
	継手	32	14.9	1.031	0.928	0.046	0.05	1.035	2.070	0.019	0.04	0.09	0.16	0.05
	下部	31	14.5	1.022	0.920	0.046	0.04	1.027	—	—	—	0.04	0.20	0.11
		30	14.1	1.014	0.913	0.046	0.04	1.018	—	—	—	0.04	0.24	0.19
		29	13.7	1.005	0.905	0.046	0.04	1.009	—	—	—	0.04	0.28	0.29
継手	28	13.3	0.996	0.897	0.345	0.16	1.000	2.000	0.706	1.23	1.39	1.67	0.40	
柱部	上部	27	12.8	0.987	0.889	0.207	0.22	0.989	1.978	0.436	0.76	0.98	2.65	1.23
		26	12.5	0.977	0.880	0.276	0.20	0.982	—	—	—	0.20	2.85	2.03
		25	12.1	0.968	0.872	0.276	0.22	0.973	1.946	2.181	3.70	3.92	6.77	3.17
		24	11.7	0.958	0.863	0.276	0.21	0.963	—	—	—	0.21	6.98	5.88
		23	11.3	0.948	0.854	0.345	0.24	0.953	—	—	—	0.24	7.22	8.67
		22	10.8	0.935	0.842	0.345	0.26	0.940	—	—	—	0.26	7.48	12.28
		21	10.3	0.921	0.829	0.345	0.26	0.927	—	—	—	0.26	7.74	16.02
		20	9.8	0.907	0.817	0.345	0.25	0.913	—	—	—	0.25	7.99	19.89
		19	9.3	0.893	0.804	0.345	0.25	0.899	—	—	—	0.25	8.24	23.88
		18	8.8	0.878	0.791	0.345	0.25	0.884	—	—	—	0.25	8.49	28.00
		17	8.3	0.862	0.776	0.345	0.24	0.869	—	—	—	0.24	8.73	32.25
		16	7.8	0.846	0.762	0.345	0.24	0.853	—	—	—	0.24	8.97	36.61
	15	7.3	0.829	0.747	0.345	0.23	0.836	—	—	—	0.23	9.20	41.10	
	継手	14	6.8	0.811	0.730	0.396	0.25	0.818	1.636	0.072	0.11	0.36	9.56	45.70
	下部	13	6.3	0.792	0.713	0.396	0.26	0.800	—	—	—	0.26	9.82	50.48
		12	5.8	0.772	0.695	0.396	0.25	0.780	—	—	—	0.25	10.07	55.39
		11	5.3	0.751	0.676	0.396	0.24	0.759	—	—	—	0.24	10.31	60.42
		10	4.8	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	1.492	0.051	0.07	0.31	10.62	65.58
		9	4.3	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	—	—	—	0.24	10.86	70.89
8		3.8	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	—	—	—	0.24	11.10	76.32	
7		3.3	0.746	0.672	0.317	0.22	0.746	—	—	—	0.22	11.32	81.87	
6		2.9	0.746	0.672	0.317	0.19	0.746	—	—	—	0.19	11.51	86.40	
5		2.5	0.746	0.672	0.396	0.22	0.746	—	—	—	0.22	11.73	91.00	
4		2.0	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	—	—	—	0.24	11.97	96.87	
3	1.5	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	—	—	—	0.24	12.21	102.85		
2	1.0	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	—	—	—	0.24	12.45	108.96		
1	0.5	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	—	—	—	0.24	12.69	115.18		
脚部	床	0.0	—	—	—	0.12	0.746	1.492	0.466	0.61	0.73	13.42	121.53	

3. 荷重の算出

(1) 津波監視カメラ設置用鉄柱の床部（基礎ボルト）に生じる曲げモーメント及びせん断力

遡上波による波力、漂流物による衝突荷重及び風荷重から床部（基礎ボルト部）に生じる曲げモーメント及びせん断力を表8に示す。

表8 床部（基礎ボルト部）に生じる曲げモーメント及びせん断力

荷重	曲げモーメントM (N・m)	せん断力Q (N)
遡上波による波力	94.36×10 ³	62.75×10 ³
衝突荷重	21.00×10 ³	6.00×10 ³
風荷重	121.53×10 ³	13.42×10 ³
床部（基礎ボルト部） に生じる荷重	236.89×10 ³	82.17×10 ³

(2) 基礎ボルトに生じる荷重

基礎ボルト1本あたりに生じる引張荷重とせん断荷重は、次式を用いて計算する。表9に基礎ボルトの荷重計算に用いる条件を示す。

(a) 引張荷重

全ボルトの断面係数は、

$$Z = A \cdot n \cdot \frac{D}{4}$$

Z : 全ボルトの断面係数

A : ボルト断面積（直径0.6mmの減肉考慮）

n : ボルト本数

D : ボルトサークルの直径

ボルト1本あたりの引張応力は、床部の曲げモーメントに対し、断面係数より、

$$\sigma_t = \frac{M}{Z}$$

σ_t : 引張応力

M : 床部の曲げモーメント

ボルト1本あたりの引張荷重は、

$$P_1 = \sigma_t \cdot A$$

$$= \frac{M}{Z} \cdot A$$

$$= \frac{M}{n \cdot \frac{D}{4}}$$

P_1 : ボルト1本あたりの引張荷重

(b) せん断荷重

全ボルトの断面積は、

$$A_a = A \cdot n$$

A_a : 全ボルトの断面積

ボルト1本当たりのせん断応力は、床部のせん断力に対し、全断面積より、

$$\tau = \frac{Q}{A_a}$$

τ : せん断応力

Q : 床部のせん断力

ボルト1本当たりのせん断荷重は、

$$Q_1 = \tau \cdot A$$

$$= \frac{Q}{A_a} \cdot A$$

$$= \frac{Q}{n}$$

Q_1 : ボルト1本当たりのせん断荷重

表9 基礎ボルトの荷重計算に用いる条件

ボルト本数 n (本)	ボルトサークルの直径 D (mm)
16	1500

4. 荷重の比較

津波時に生じる荷重と最大許容荷重を比較した結果を表10に示す。耐津波評価の際は、長期最大許容荷重（引張： 111.5×10^3 [N]、せん断： 89.6×10^3 [N]）を1.5倍した短期最大許容荷重にて応力比を算出しているため、この短期最大許容荷重と発生荷重とを比較する。引張荷重及びせん断荷重のいずれにおいても、基礎ボルトでの発生荷重が短期最大許容荷重を下回っている。

表 10 基礎ボルト評価結果

評価部位	荷重の種類	発生荷重 (N)	短期最大許容荷重※ (N)
基礎ボルト	引張荷重	39.5×10^3	167.3×10^3
	せん断荷重	5.2×10^3	134.4×10^3

※短期最大許容荷重＝長期最大許容荷重×1.5

以上より、津波監視カメラの基礎ボルトの評価において、最大許容荷重が津波時に発生した場合を仮定することは、保守的な評価となる。

以上

要素数:34
節点数:35(床含む)

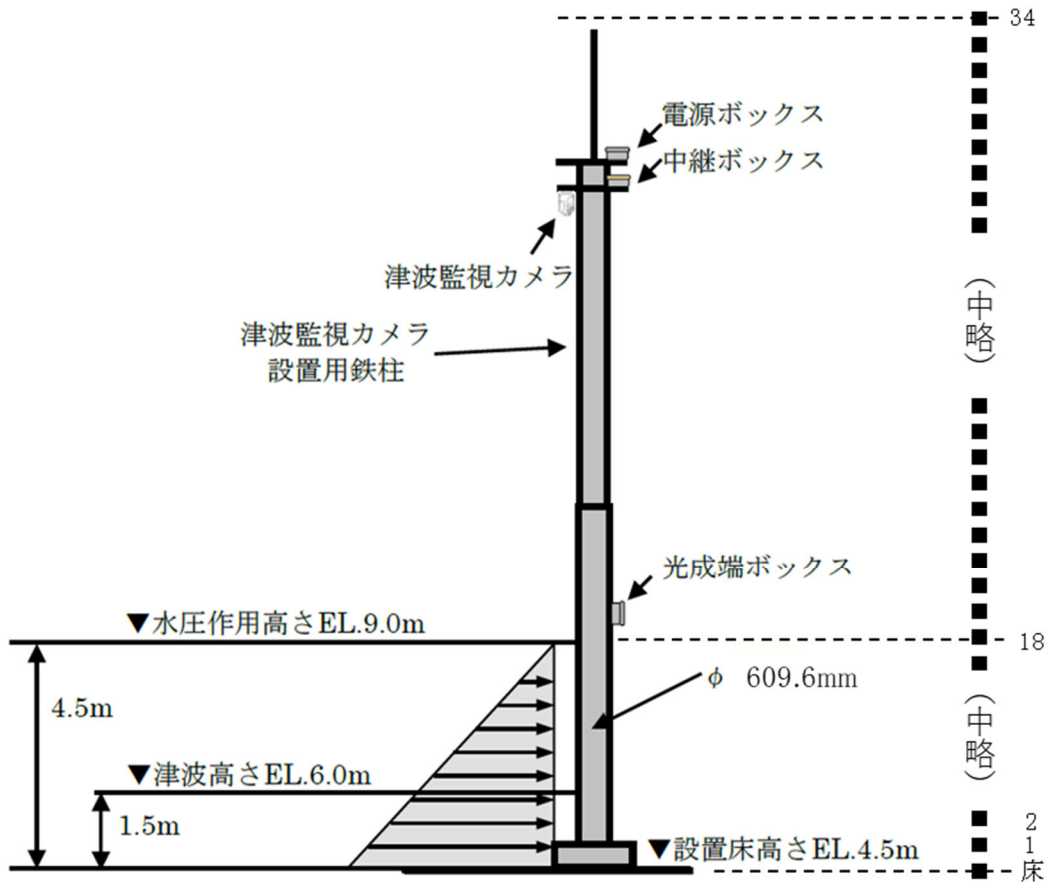


図 津波監視カメラ設置用鉄柱に作用する津波荷重のイメージ