

電氣技術規程

原子力編

原子力発電所耐津波設計技術規程

JEAC 4629-202X

一般社団法人 日本電気協会

原子力規格委員会

「原子力発電所耐津波設計技術規程」の構成と各章の概要及び位置づけ

耐津波設計は、津波による影響が多岐に渡ることで、多種多様の施設・設備を対象とする必要があること、また、これらを組み合わせた設計を考える必要があるため、関連する分野が広範に及ぶことなどの特徴を有している。このため耐津波設計に関する規程の策定にあたっては、個々の技術要素だけでなく、それらを取りまとめ、一つの設計体系として構築することが重要と考えられる。

本規程ではこのような観点より、個別の技術要素に加え、耐津波設計の全体のプロセスやシステム全体としての設計レビューも規定する方針で策定を行っている。

耐津波設計に関わる技術要素については、東日本大震災を契機として研究・開発が活発化されていることがあり、このため本規程を通して見たとき、個々の要素により技術の到達度に差異があることは否めない。しかしながら上記のとおり、耐津波設計の特徴として「関連する分野が広範に及ぶこと」を考慮し、本規程では、分割による分野間の抜け落ちや見落としを防止する観点から、敢えて全体を一つのパッケージとして制定することとしている。

本規程中において現時点では研究・開発段階にあり、具体的な仕様を規定するに至っていない要素もあるが、これらについても解説や附属書（参考）に有用な情報を記載するとともに、今後も研究・開発の進捗、設計経験の蓄積等に応じて、適宜、新たな技術・知見を取り込むことで、継続して規定としての高度化を図っていくこととする。

以下に本規程の構成と各章の概要について、技術到達度等を踏まえた現時点における位置づけとともに示す。

・ 第1章 基本事項

原子炉施設の耐津波設計の基本事項として、設計で適用する津波や重要度分類の考え方、施設の津波に対する防護の基本方針等を規定している。

本章は規制基準の要求事項を具現化するものとして位置づけられるが、次の二点については、現時点では性能的な要求事項を示すに留まり、今後の高度化が求められる。

a. 耐津波 B クラスの設計に用いる津波

規制基準では耐津波設計において重要度に応じた設計の考え方はなく、基準津波 Ts に対して最重要な施設を防護することのみを求めているが、本規程では安全性追求の観点より、規制基準が対象とする範囲に相当する耐津波 S クラスの施設に加え、耐津波 B クラスを定義し、より重要度が低い施設についても基準津波 Ts より影響は小さいが発生頻度が高い津波に対して防護するという考え方を盛り込んでいる。

しかし、耐津波 B クラスの設計に用いる津波としてどのような津波を設定するかについては、本来、確定論的な考え方であれ確率論的な考え方であれ、達成すべき安全性のレベルがあってはじめて決められるものと考えられるが、現時点では、基準津波

Ts よりも影響の小さい津波に対してどのレベルまでの安全性を確保すべきかについては、十分なコンセンサスが醸成されている段階ではない。このため、耐津波 B クラスの設計に用いる津波は、現段階では原子炉施設を所有する各事業者の適切な判断によることとしている。

b. 耐津波設計で考慮すべき余震

津波が主として地震により引き起こされることを考えると、耐津波設計においては津波と津波の原因となる地震との組合せ、また、その地震に従属して発生する余震との組合せの考慮は重要な要素であるが、余震の設定方法については十分な知見の蓄積がないことから、現時点では具体的な仕様を規定することはせず、性能的な要求を示すこととしている。

・ 第 2 章 耐津波設計の手順

耐津波設計の全体のプロセスを規定している。

・ 第 3 章 津波による影響

津波の伝播や遡上、津波波力や津波漂流物の衝突力等、耐津波設計で考慮すべき津波による影響の評価手法を規定している。

津波波力や津波漂流物の衝突力、また、津波による砂移動や洗掘等の評価については、実績・検証・実用例が限定的あるいは少なく研究開発の途上であるため、現時点では具体的な手法を規定することはせず、解説及び附属書（参考）に手法の例示等、有用な情報を記載することとしている。

・ 第 4 章 津波防護施設・浸水防止設備の耐津波設計

津波防護施設、浸水防止設備の耐津波設計を行う上での要求事項、設計基準を規定している。

個別の津波防護施設、浸水防止設備の設計基準は、特に原子炉施設への適用という観点で、実設計の経験が十分ではないため、現時点では具体的な仕様を規定することはせず、性能的な要求を示すこととしている。

・ 第 5 章 機器・電気設備の耐津波設計

機器・電気設備の耐津波設計を行う上での要求事項、個別の機器・電気設備の設計基準を規定している。

なお、本規程では機器・電気設備には津波による影響が直接及ばないように設計することを基本方針としており、本章の規定は、防護の多重性・多様性の一つの選択肢として設備を、津波による影響を直接受けた場合にも機能維持できるように設計する際に適用するものと位置づけられる。

実際の原子炉施設への適用を考えると、防護の多重性・多様性の手段としてのこのような設計に対する需要は、屋内設備に比べて津波による影響にさらされる危険性が高い、屋外設備でより高いと想定されるため、現時点では屋外設備を主たる対象として規定を定めている。屋内設備については、津波襲来下における原子炉施設の運転状態による影響と津波による影響との組合せや、その際の許容限界等、仕様規定の策定にあたり、今後より詳しい検討が必要と考えられる。

- ・ 第6章 津波による個別の事象に対する耐津波設計

津波による影響及び津波随伴事象のうち、水位低下、砂移動、津波随伴火災に対する原子炉施設の設計上の要求事項、設計基準を規定している。

設計基準については、実設計の経験が十分ではないため、現時点では具体的な仕様を規定することはせず、性能的な要求を示すこととしている。

- ・ 第7章 原子炉施設の耐津波性能評価

個別の施設・設備の耐津波設計が完了した段階において、原子炉施設全体としての耐津波性能を評価する手法を規定している。

- ・ 第8章 津波検知と運転管理

津波の検知に関し、津波監視設備に対する設計上の要求事項、検知時の運転管理に対する要求事項を規定している。

津波監視設備及び検知時の運転管理とも、実設計や実運用の経験が十分ではないため、現時点では具体的な仕様を規定することはせず、性能的な要求を示すこととしている。

原子力発電所耐津波設計技術規程

目 次

第1章 基本事項

1.1 適用	11
1.1.1 適用範囲	11
1.1.2 改定	13
1.1.3 適用する年版	13
1.1.4 関連する法規等	14
1.2 耐津波設計の基本方針	16
1.2.1 耐津波設計の目的	16
1.2.2 基本的考え方	16
1.2.3 耐津波設計に適用する津波	18
1.2.4 耐津波設計上の重要度分類	19
1.2.4.1 機能上の分類	19
1.2.4.2 耐津波クラス別施設	21
1.2.4.3 耐津波重要度分類の適用	22
1.2.5 施設の耐津波設計	24
1.2.5.1 津波の到達，流入に対する防護の基本方針	24
1.2.5.2 津波に対する取水性の維持に係わる設計方針	28
1.2.5.3 津波随伴事象に対する設計方針	29
1.2.5.4 耐津波設計で考慮する事象及び運転状態	30
1.2.5.5 クラス別施設の許容状態	33
1.3 用語	34
1.4 単位系	37
附属書（参考）1.1 超過津波対策への推奨事項	38
附属書（参考）1.2 耐津波設計における余裕の考え方	40
附属書（参考）1.3 不確かさを考慮した荷重因子の設定	45
附属書（参考）1.4 各設備の具体的な耐津波重要度分類	51

第2章 耐津波設計の手順

2.1 耐津波Sクラス施設的设计手順	61
2.2 耐津波Aクラス施設的设计手順	64
2.3 耐津波Bクラス施設的设计手順	64

第3章 津波による影響

3.1 基本事項	66
3.1.1 適用範囲	66
3.1.2 基本的な考え方	66
3.1.3 準用する基準類	67
3.2 津波の伝播・遡上	68
3.2.1 津波の伝播・遡上の基本的考え方	68
3.2.2 基本方程式と計算スキーム	69
3.2.3 数値シミュレーションの実施	71
3.2.3.1 解析事項	71
3.2.3.2 数値シミュレーション領域の設定	72
3.2.3.3 計算格子間隔	73
3.2.3.4 地形データの作成	74
3.2.3.5 構造物データの作成	75
3.2.3.6 境界条件の設定	77
3.2.3.7 諸条件の設定	80
3.3 津波波力	84
3.3.1 津波波力の基本的考え方	84
3.3.2 防波堤等の海中構造物に作用する津波波力	84
3.3.3 陸上構造物・機器に作用する津波波力	89
3.4 津波漂流物	90
3.4.1 津波漂流物対応の基本的考え方	90
3.4.2 津波漂流物諸元の想定方法	90
3.4.3 津波漂流物衝突力の算定	92
3.5 砂移動	93
3.5.1 津波による砂移動	93
3.5.2 津波による洗掘	94

附属書(規定) 3.1 近地津波伝播を対象とした基礎方程式と計算スキーム	95
附属書(規定) 3.2 取放水設備を対象とした基礎方程式	98
附属書(参考) 3.1 三次元流体解析の適用	99
附属書(参考) 3.2 海中構造物(傾斜型)に作用する津波波力の評価式	101

附属書（参考）3.3 陸上構造物・機器に作用する津波波力の評価式	105
附属書（参考）3.4 漂流物化する可能性評価の考え方	116
附属書（参考）3.5 漂流物の衝突力評価式例	117
附属書（参考）3.6 砂移動の解析手法	120
参考文献	124

第4章 津波防護施設・浸水防止設備の耐津波設計

4.1 基本事項	131
4.1.1 適用範囲	131
4.1.2 準用する基準類	132
4.2 津波防護施設・浸水防止設備の耐津波設計の基本方針	134
4.2.1 津波時に確保すべき安全状態	134
4.2.2 津波により想定される事象	134
4.2.2.1 津波波力及び浮力により想定される事象	134
4.2.2.2 浸水により想定される事象	135
4.2.2.3 漂流物により想定される事象	135
4.2.2.4 洗掘により想定される事象	136
4.2.3 津波防護施設・浸水防止設備の機能維持要求	137
4.3 津波防護施設・浸水防止設備の荷重条件	138
4.3.1 津波に起因する荷重	138
4.3.1.1 浸水深	138
4.3.1.2 津波波力及び浮力	138
4.3.1.3 漂流物衝突力	139
4.3.2 荷重の組合せ	139
4.3.2.1 基本的考え方	139
4.3.2.2 荷重の組合せ	140
4.4 個別施設の設計基準	143
4.4.1 津波防護施設（防潮堤等）の耐津波設計	143
4.4.2 浸水防止設備（水密扉等）の耐津波設計	143
4.4.2.1 敷地の浸水防止設備（取放水路蓋等）	143
4.4.2.2 建屋水密バウンダリとなる設備（水密扉、配管貫通部等）	144
4.4.2.3 建屋内水密バウンダリとなる設備（水密扉、配管貫通部等）	144
4.4.3 その他の施設の耐津波設計	144
4.4.3.1 取放水路の耐津波設計	144
4.4.3.2 浸水防止設備が取り付く建物・構築物の耐津波設計	144
4.4.4 使用材料及び材料定数	145
4.4.5 許容限界	145

4.5 浸水量評価	147
附属書（参考）4.1 津波防護施設の設計方針	148
第5章 機器・電気設備の耐津波設計	
5.1 基本事項	151
5.1.1 適用範囲	151
5.1.2 準用する基準類	152
5.2 機器・電気設備の耐津波設計の基本方針	153
5.2.1 津波時に確保すべき安全状態	153
5.2.2 津波により想定される事象	154
5.2.2.1 津波波力及び浮力により想定される事象	154
5.2.2.2 浸水により想定される事象	154
5.2.2.3 漂流物により想定される事象	156
5.2.2.4 敷地内の洗掘により想定される事象	157
5.2.3 設備に対する機能要求	157
5.3 機器・電気設備の荷重条件	158
5.3.1 津波に起因する荷重	158
5.3.1.1 浸水深	158
5.3.1.2 津波波力及び浮力	158
5.3.1.3 漂流物衝突力	159
5.3.2 荷重の組合せと許容限界	160
5.3.2.1 基本的考え方	160
5.3.2.2 荷重の組合せ	160
5.3.2.2.1 津波外力を考慮する機器・配管系	160
5.3.2.2.2 津波外力と組み合わせる余震による地震荷重	161
5.3.2.2.3 津波外力と組み合わせる運転状態	161
5.3.2.3 許容限界	163
5.4 個別設備の設計基準	165
5.4.1 屋外設備	167
5.4.1.1 屋外タンクの耐津波設計	167
5.4.1.2 屋外配管の耐津波設計	171
5.4.1.3 動的機器・電気計装機器の耐津波設計	173
5.4.1.4 波及的影響検討設備（漂流物となることを防止する設備）	174
附属書（参考）5.1 個別設備の耐津波強度評価の考え方	175

第6章 津波による個別の事象に対する耐津波設計

6.1 適用範囲	180
6.2 取水性の維持に係る設計	181
6.2.1 水位低下に対する設計	181
6.2.1.1 水位低下により想定される事象及び施設の機能要求	181
6.2.1.2 水位条件	181
6.2.1.3 設計基準	181
6.2.2 砂移動に対する設計	182
6.2.2.1 砂移動により想定される事象及び施設の機能要求	182
6.2.2.2 取水施設の設計基準	182
6.2.2.3 海水ポンプの設計基準	182
6.3 津波随伴火災に対する設計	183
6.3.1 津波随伴火災に対する施設の機能要求	183
6.3.2 設計基準	183

附属書（参考）6.1 取水が継続的に維持できない場合の設計の考え方	185
-----------------------------------	-----

第7章 原子炉施設の耐津波性能評価

7.1 耐津波性能評価の目的	188
7.2 原子炉施設全体としての耐津波性能の検証	189
7.3 耐津波性能評価	190
7.3.1 耐津波性能評価手法	190
7.3.2 耐津波設計への反映	191

附属書（参考）7.1 耐津波性能評価の例	192
----------------------	-----

第8章 津波検知と運転管理

8.1 津波の検知	202
8.1.1 津波監視設備の整備	202
8.1.2 津波監視設備の設計方針	203
8.2 運転管理	204
8.2.1 津波防護施設及び浸水防止設備の機能維持	204
8.2.2 津波検知時の運転管理	205

第 1 章 基本事項

1.1 適用

1.1.1 適用範囲

本規程は、陸上の発電用軽水型原子炉施設（以下、「原子炉施設」という。）の耐津波設計に適用する。

具体的な適用の範囲は、原子炉施設のうち設計基準対象施設の設計上想定する津波に対する設計であるが、この内容は、重大事故等対処施設の設計にも準用できる。また、設計上想定する津波を上回る津波に対して原子炉施設の安全確保を図る際に参考とできる。

なお、本規程は、本規程に規定しない技術又は方法を用いた耐津波設計を排除するものではないが、その適用にあたり、設計者は妥当性を示さなければならない。

【解 説】

本規程は原子炉施設の耐津波設計に適用するものであり、具体的には「**実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則**」（平成 25 年 6 月 28 日 制定，令和 4 年 9 月 26 日 一部改正）及びその解釈である「**実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈**」（平成 25 年 6 月 19 日 制定，令和 6 年 3 月 13 日 一部改正）の要求に基づき別に策定される設計上想定する津波（後述する基準津波 T_s ）を与条件とし、これに対する設計基準対象施設の設計の手法を規定するものである。しかしながら本規程に定める設計手法は、原子炉施設の特徴を踏まえて構築した施設の津波に対する防護方策であることから、その内容については重大事故等対処施設の設計においても準用できるとしている。

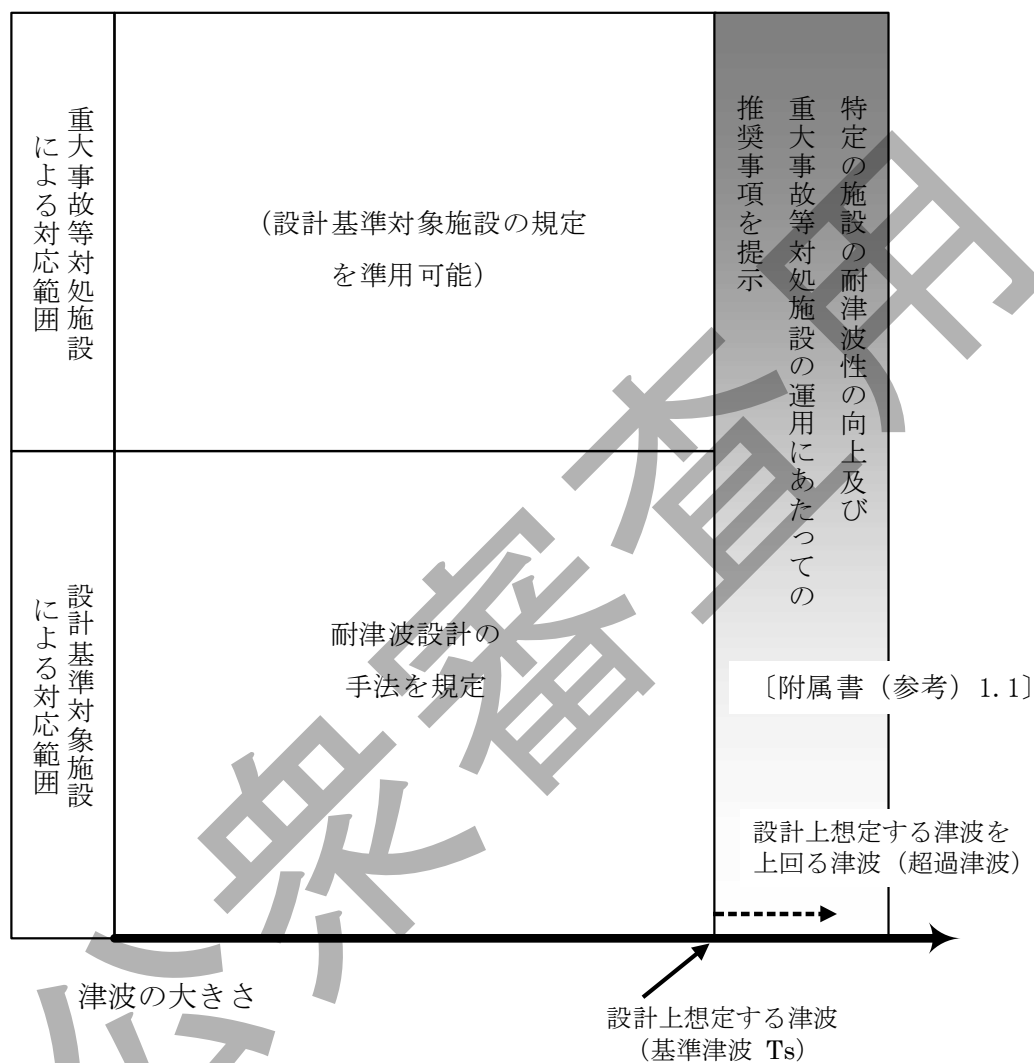
また、設計上想定する津波を上回る津波（後述する超過津波）が発生する可能性及び超過津波がもたらす原子炉施設への影響を踏まえ、重大事故発生防止及び重大事故発生時の影響緩和が重要であるとの観点から、本規程では、設計上想定する津波を上回る津波に対して原子炉施設の安全確保を図る際の推奨事項についても「附属書（参考）1.1 超過津波対策への推奨事項」として示している。

以上に述べる本規程の適用範囲を図示すると解図 1.1.1-1 となる。

原子炉施設の耐津波設計に新しい技術・知見を取り入れるのは望ましいことである。このため、本規程は建物・構築物及び設備、機器等の耐津波設計に関する具体的な要求事項を定めているが、研究開発、各種試験・計測、モデル実証試験等により確立・確認された新しい技術・知見に基づいて、本規程に規定しない技術、方法、設計パラメータ等を用いた耐津波設計を行うことを排除せず、設計者が、その妥当性を示すことをもって適用可能としている。

本規程は、原子炉施設の新規設置又は改造の際の耐津波設計に適用するものであるが、既存の原子炉施設の耐津波性能評価、地震、地すべり、斜面崩壊、火山活動による津波のほか、原子炉施設に影響を及ぼす洪水に対する設計に対しても参考にできる。

また、本規程は施設の耐津波性に係る広範な技術・知見・経験を踏まえ、耐津波設計技術の体系化を目的としたものであるので、本規程の基本的な考え方は、発電用軽水型原子炉施設以外の陸上の原子炉施設及びその他の原子力関係施設の耐津波設計にも参考となるものである。



解図 1.1.1-1 本規程の適用範囲の概要

1.1.2 改定

本規程は適宜見直しを実施し、改定を行った場合は補遺を発行する。また、全面的な見直しを行った場合は、新しい年版として改定版を発行する。

【解 説】

耐津波設計に関連する分野においては、東日本大震災を受け、新しい技術、知見、観測データ等について研究が行われている。このような状況の下で、本規程の価値を維持する観点から、研究開発成果、新たな知見等を取り入れ、関連する規準類の改定内容を適切に反映して相互に矛盾が生じないようにする等、規格のメンテナンスを適宜実施する。

1.1.3 適用する年版

- (1) 本規程を適用又は準用して耐津波設計を行う場合、適用する本規程の発行年を設計仕様書等で明確にしなければならない。
- (2) 準用する規格等は、本規程で指定されている年版を適用する。ただし、設計仕様書等で特記される場合はこの限りでない。

【解 説】

耐津波設計に複数の年版を適用する場合は、互いに不整合、矛盾等のないように注意する必要がある。

準用する規格等の具体名及び年版は各章に規定する。準用する規格等が改定された場合、引き続き準用することの技術的妥当性を吟味した上で、本規程に規定する年版の改定等を行う。

1.1.4 関連する法規等

- (1) 本規程は、原子炉施設の耐津波設計に対して要求する技術的仕様を定めたものである。
- (2) 本規程は、関連法令、各種公的規格、学協会規格等を引用、準用又は参照する。
- (3) 本規程の中で引用又は準用する学協会規格等は、適用する年版を指定する。

【解 説】

本規程は、以下に掲げる関連法令、公的規格、学協会規格等を引用、準用又は参照している。

- (1) 原子炉施設に係る法令
- (2) 日本産業規格（以下、「JIS 規格」という。）
- (3) 日本電気協会が制定する規格及び指針
- (4) 日本原子力学会が制定する標準類
- (5) 日本機械学会発電用原子力設備規格に属する諸規格
- (6) 日本建築学会の指針類
- (7) 土木学会の指針類
- (8) 電気学会の指針類
- (9) その他関連学協会の指針類

我が国の原子力に関わる規準類は、関係する諸分野からのメンバーで構成される委員会等の場で公開の審議及び書面投票により承認され、さらに公衆審査に付されて提出された公衆意見を適切に反映する等、透明かつ公正なプロセスを経て制定されることが要求されている。日本電気協会、日本原子力学会、日本機械学会（以下、「3学協会」という。）の規準類はこうした要求に適合した手続きで定められることから、3学協会が連携して原子力施設に必要な規準類を相互補完的に整備している。

なお、原子炉施設のうち、本規程以外の耐津波設計に係る規準類の適用を受けるものは、それらにも適合する必要がある。

各章で規定する設計を実施するにあたり引用、準用又は参照する具体的な基準類については、必要に応じ各章で「準用する基準類」として示しているが、耐津波設計全体としては以下の法規等が関連する。

- ① 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和 32 年 6 月 10 日 制定，令和 7 年 6 月 6 日 改正）
- ② 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和 53 年 12 月 28 日 制定，令和 7 年 6 月 6 日 改正）
- ③ 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年 6 月 28 日 制定，令和 4 年 9 月 26 日 改正）

- ④ 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈（平成 25 年 6 月 19 日 制定，令和 6 年 3 月 13 日 改正）
- ⑤ 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 6 月 28 日 制定，令和 4 年 9 月 26 日 改正）
- ⑥ 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の解釈（平成 25 年 6 月 19 日 制定，令和 7 年 9 月 17 日 改正）
- ⑦ 基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド（平成 25 年 6 月 19 日 制定，令和 3 年 6 月 23 日 改正），
- ⑧ 耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成 25 年 6 月 19 日 制定，令和 5 年 1 月 18 日 改正）
- ⑨ 基準津波関連技術指針（JEAG4642-202X）（日本電気協会）
- ⑩ 原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2021）（日本電気協会）
- ⑪ 安全機能、重大事故等に対処する機能を有する電気・機械装置の重要度分類指針（JEAG4612-2021）（日本電気協会）
- ⑫ 軽水型原子力発電所の設計で考慮すべき自然現象とその重畳に関する考え方のガイドライン（日本保全学会・原子力規制関連事項検討会）
- ⑬ JIS Z8000（2025）「量及び単位」
- ⑭ 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2016（一般社団法人 日本原子力学会）
- ⑮ 原子力安全のためのマネジメントシステム規程（JEAC4111-2021）（日本電気協会）
- ⑯ 原子力発電所の火災防護規程（JEAC4626-2021）（日本電気協会）
- ⑰ 発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針（平成 2 年 8 月 30 日 原子力安全委員会決定）

1.2 耐津波設計の基本方針

1.2.1 耐津波設計の目的

原子炉施設の耐津波設計の目的は、施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な津波に起因する外乱によって、周辺の一般公衆及び従事者に対し著しい放射線被ばくのリスクを与えないように、十分な耐津波性を有する原子炉施設を設計することである。

【解 説】

津波に起因する外乱としては、波力、浸水、浮力、水位変動、砂移動、洗掘等の津波により生じる直接的な外乱と、漂流物の衝突、火災等の、人工物の介在等の一定の条件下において津波に随伴して発生し得る間接的な外乱とがある。本規程では前者を「津波による影響」、後者を「津波随伴事象」と呼称し、この両者を取り扱う。

1.2.2 基本的考え方

- (1) 原子炉施設のうち耐津波設計上重要な施設は、施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、それら施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な津波に対して、その安全機能が損なわれることがないように設計する。
設計にあたっては、津波の発生要因となる地震等による影響並びに津波の繰り返しによる影響及びその継続時間を考慮する。
- (2) 原子炉施設は、津波により発生する可能性のある公衆及び従事者並びに環境への放射線影響の観点から耐津波設計上の重要度を定義し、その区分ごとに適切に設定される津波に対して、区分ごとに要求される機能が維持できるように設計する。
- (3) 原子炉施設は、想定される津波による影響に対して、次のいずれかの施策あるいはその組合せにより防護することを基本とする。
 - ・ 津波による影響が到達しない標高に設置
 - ・ 津波による影響から障壁により隔離
 - ・ 津波による影響に対して機能維持できるように設計また、これらの施策に関わる設備の信頼性を踏まえ、津波による影響からの防護が確実なものとなるよう、必要に応じて施策の多重化・多様化を考慮する。
- (4) 前項の他、原子炉施設は、想定される津波随伴事象に対しても、その安全機能が重大な影響を受けるおそれがないように設計する。
- (5) 原子炉施設の耐津波設計では、上記による施設ごとの設計に加え、施設全体としての耐津波性が網羅性並びに均衡性を欠くことがないように配慮する。

【解 説】

(1) 環境への放射線影響

本規程において、環境への放射線影響とは、土地汚染による周辺の一般公衆の生活への影響等、「人の生活空間としての環境」への有害な影響のことをいう。

(2) 津波による影響に対する防護の施策

本項の(3)では、原子炉施設の津波による影響に対する防護は、次の三つの施策あるいはその組合せを基本として行うことを規定している。

- ・ 津波による影響が到達しない標高に設置
- ・ 津波による影響から障壁により隔離
- ・ 津波による影響に対して機能維持できるように設計

ここで、「津波による影響が到達しない標高に設置」とは、施設を津波による遡上波が到達しない場所に設置することにより、施設に津波による影響が及ぶことを防止するものである。また、「津波による影響から障壁により隔離」は、施設の前面に防潮堤などの壁を設置する、あるいは施設を水密扉等により水密化した建屋又は部屋に内包するなどにより、施設を津波による影響から隔離するものである。

「津波による影響に対して機能維持できるように設計」とは、施設を津波による影響下においても要求される機能が維持できるように設計するものであり、これには次のような例が挙げられる。

- ・ 配管、タンク等の静的構造物を、津波による波力、浸水時の水圧等に対して構造強度が維持できる設計とする。
- ・ 制御盤、電動機、ケーブル等の電気設備を、津波による浸水に対して耐水性が維持できる設計とする。
- ・ 海水ポンプ等の取水施設、海水冷却設備等を、津波による水位変動に対して取水機能が維持できる設計とする。

また、これらの施策の「組合せ」とは、例えば「防潮堤により津波のエネルギーを一定程度低減させた後に、残りの波力を防ぐ防潮壁を設置する」、あるいは「防波堤により津波のエネルギーを低減させた後に、その低減された津波による遡上波の到達高さよりも高い場所に施設を設置する」など、同種あるいは異種の二つ以上の施策の組合せにより防護することをいい、想定すべき津波の規模、原子炉施設の立地条件等を踏まえて適切な組合せを考慮することにより、合理的な耐津波設計が可能となる。

(3) 多重化・多様化の考慮

津波に対する防護の施策には、防潮堤、防潮壁などの頑健な土木、建築構造物によるもの、パッキン等の定期的な保守が求められるもの、また水密扉等の人による運用が介在するものなど様々なものが考えられる。耐津波設計を行うにあたっては、これらの施策の劣化モード、機能喪失モードなどの特徴を踏まえ、必要に応じて施策の多

重化・多様化により信頼性の向上を図ることが望ましい。

(4) 施設全体としての耐津波性への配慮について

原子炉施設の耐津波設計においては、設計の対象が、防潮堤、建屋、水密扉、その他の止水構造物、機器・配管系等多岐にわたり、かつ、これらの耐津波性が総合的に機能することが重要となる。

本方針は、上記の耐津波設計の特徴を踏まえ、個々の施設の耐津波設計に加えて、施設全体としての耐津波性の評価（津波に対する防護の網羅性の確認、施設全体としての耐津波性の均衡性の評価）を行い、必要に応じて個別施設の設計へのフィードバックを行うことを意図したものである。

ここで、津波に対する防護の網羅性の確認とは、施設全体の設計又は施工が完了した段階で、個別施設の耐津波設計で想定した浸水経路及びそれに対する防護対策の適切性の確認を行うことにより、施設全体として所要の耐津波性を有することの確認を意味する。また、耐津波性の均衡性の評価とは、個別施設の設計を総合して施設全体としての設計裕度を分析し、各施設の設計のバランスを評価することを意味する。

なお、施設全体としての耐津波性が均衡の取れたものとするにより、設計上想定する津波に対して、施設全体として一定の設計余裕が合理的に付与されることも期待できる。

本方針に関わる具体的な評価及びフィードバックの手法は、本規程の「第7章 原子炉施設の耐津波性能評価」に示す。また、耐津波設計における余裕の考え方を「附属書（参考）1.2 耐津波設計における余裕の考え方」に示す。

1.2.3 耐津波設計に適用する津波

原子炉施設の耐津波設計においては、施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、耐津波設計上重要な施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な津波（以下、「基準津波 Ts」という。）を考慮する。

【解 説】

基準津波 Ts は、「**実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則**」（平成 25 年 6 月 28 日 制定，令和 4 年 9 月 26 日 一部改正）及びその解釈である「**実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈**」（平成 25 年 6 月 19 日 制定，令和 6 年 3 月 13 日 一部改正）の要求に基づき、「**基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド**」（平成 25 年 6 月 19 日 制定，令和 3 年 6 月 23 日 一部改正），「**基準津波関連技術指針**」（JEAG4642-202X）」等を参考に別に策定される。本規程では、この基準津波 Ts を与条件とし、これに対する原子炉施設の

耐津波設計の手法を規定する。

なお、基準津波 T_s は、「**実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈**」(平成 25 年 6 月 19 日 制定, 令和 6 年 3 月 13 日 一部改正) に示されるように、反射波の影響が微少となるよう施設から離れた沿岸域で時刻歴波形として算出され、同規則の解釈において、基準津波 T_s の伝播解析及び遡上解析により算定される施設・設備等の設置位置における水位の時刻歴波形を特に「入力津波」と呼称しているが、本規程では個々の設計条件をより具体的に表現するため、同等の意味で「基準津波 T_s による荷重」、「基準津波による砂移動」等と記述する。

また、上記にて策定される基準津波 T_s は、基本的には原子力発電所に最も影響を与える上昇側水位（最高水位）及び下降側水位（最低水位）を与えるものが選定されることとなるため、耐津波設計にあたって津波流速等が必要となる場合は、基準津波 T_s から津波流速等を求めることに不確かさが介在する。この不確かさの取り扱いについて「附属書（参考）1.3 不確かさを考慮した荷重因子の設定」に例示する。

1.2.4 耐津波設計上の重要度分類

1.2.4.1 機能上の分類

耐津波設計の目的を合理的に達成するために、各施設の重要度を津波によって発生するおそれがある安全機能の喪失に起因する公衆への影響の観点から耐津波 S クラス、耐津波 A クラス及び耐津波 B クラスに分類する。

耐津波 S クラス：津波により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの

耐津波 A クラス：安全機能を有する施設であって S クラス以外の施設のうち、安全重要度が比較的高い施設

耐津波 B クラス：安全機能を有する施設であって S クラス以外の施設のうち、安全重要度が比較的低い施設

【解 説】

(1) 耐津波 S クラス

本規程においては、施設の耐津波設計上の重要度を津波により発生する可能性のある放射線影響の観点から、施設の種別に応じて分類している。この考え方は、外的事象に対して維持すべき原子炉施設の安全機能の共通性を踏まえ、「**原子力発電所耐震設計技術規程**」(JEA04601-2021)における施設の耐震重要度分類と同様としている。

ただし、耐震設計と異なり、耐津波設計においては全ての施設に津波による影響が及ぶことは避け得るので、基準津波 T_s が襲来した際に、施設全体において津波により発生するおそれがある事象を予め想定した上で、安全機能を維持すべき施設を選定することができる。したがって、「原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設」及び「事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設」については、その機能の多様性を求めて施設に冗長性を持たせた場合には、より耐津波性に優れた施設を耐津波 S クラスとして選定することが合理的である。

このような観点に立てば、耐震 S クラス施設と耐津波 S クラス施設は必ずしも一致するとは限らない。

(2) 耐津波 A クラスと耐津波 B クラス

ここでいう「安全重要度が比較的高い施設」とは、「**安全機能、重大事故等に対処する機能を有する電気・機械装置の重要度分類指針**」(JEA04612-2021)におけるクラス 1 及びクラス 2 に該当する構築物、系統及び機器を指し、「安全重要度が比較的低い施設」とは、同指針におけるクラス 3 に該当する構築物、系統及び機器を指す。

したがって、具体的には、耐津波 A クラスは「安全機能を有する設備であって耐津波 S クラス以外の施設のうち、クラス 1 及びクラス 2 施設」、耐津波 B クラス施設は「安全機能を有する設備であって耐津波 S クラス以外の施設のうち、クラス 3 施設」となる。

1.2.4.2 耐津波クラス別施設

各耐津波クラスの機能上の分類によるクラス別施設は、以下のとおりとする。

(1) 耐津波Sクラスの施設

- a. 「原子炉冷却材圧力バウンダリ」を構成する機器・配管系
- b. 使用済燃料を貯蔵するための施設
- c. 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設
- d. 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- e. 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- f. 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設
- g. 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設で上記f.以外の施設

(2) 耐津波Aクラス施設

- a. 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設
- b. 放射性廃棄物を内蔵している施設であって放射能インベントリが大きいもの。ただし、内蔵量が少ないか又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が周辺監視区域外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。
- c. 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設のうち、安全重要度が比較的高いもの

(3) 耐津波Bクラスの施設

- a. 放射性廃棄物を内蔵している施設であって放射能インベントリが小さいもの。ただし、内蔵量が少ないか又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が周辺監視区域外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。
- b. 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設のうち、安全重要度が比較的低いもの
- c. 使用済燃料を冷却するための施設
- d. 放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、耐津波Sクラスに属さない施設

1.2.4.3 耐津波重要度分類の適用

各設備に適用する耐津波重要度分類は、以下の考え方による。

(1) 設備区分

施設を構成する設備を以下のとおり区分する。

a. 主要設備

施設に課せられる機能に直接的に関連する設備

b. 補助設備

施設に課せられる機能に間接的に関連し、その補助的役割を持つ設備

c. 直接支持構造物

主要設備、補助設備に直接取り付けられる支持構造物、又はこれら設備の荷重を直接的に受ける支持構造物

d. 間接支持構造物

直接支持構造物から伝達される荷重を受ける鉄筋コンクリート及び鉄骨等の支持構造物

e. 津波防護施設

護岸、防潮堤、防潮壁、建屋内・外壁、床等の、津波の遡上、流入又は浸水を防止するための建物・構築物

f. 浸水防止設備

水密扉、配管・電路貫通部の止水構造等の、津波に対する障壁を形成する建物・構築物と一体となって浸水を防止するための設備、機器等

g. 波及的影響検討設備

耐津波 S, A, B クラス施設へ波及的影響を及ぼす可能性のあるすべての設備等であり、これには船舶、車両、コンテナ、木材等も含む。

(2) 設備区分に適用する耐津波重要度分類

各設備区分に適用する耐津波クラス及び確認用津波は以下のとおりとする。

a. 主要設備が安全上要求される機能に関連する補助設備及び直接支持構造物について

は、主要設備と同一の耐津波クラスとする。

b. 「津波による影響から障壁により隔離」を行う主要設備及び補助設備の津波防護施設、浸水防止設備に関し、耐津波 S クラス及び耐津波 A クラスの津波防護施設については Se, 耐津波 B クラスの津波防護施設については Be, 耐津波 S クラス及び耐津波 A クラスの浸水防止設備については Si, 耐津波 B クラスの浸水防止設備については Bi と表記する。

c. 「津波による影響に対して機能維持できるように設計」を行う主要設備、補助設備及びその直接支持構造物については、機能維持設計設備と呼称し、耐津波 S クラスの機能維持設計設備については St, 耐津波 B クラスの機能維持設計設備については Bt と

表記する。

- d. 「津波による影響に対して機能維持できるように設計」を行う主要設備及び補助設備の間接支持構造物については、耐津波クラスは定めないが、支持する設備の耐津波クラスに応じて適用される津波を、確認用津波とする。
- e. 波及的影響検討設備については、波及的影響を及ぼす可能性のある設備の機能を維持するために考慮すべき津波を、確認用津波とする。

【解 説】

(1) 波及的影響

波及的影響とは、設備、原子炉施設の内外に存在する船舶、車両、コンテナ、木材等が津波により漂流、発火するなどして、他の設備の機能にその影響が及ぶことをいう。

(2) 設備区分に適用する耐津波重要度分類

1.2.2 項に規定するとおり原子炉施設の耐津波設計においては、津波による影響から施設を防護することを基本としており、機能維持設計設備（St, Bt）以外の主要設備等には直接津波による影響を作用させない一方、津波防護施設（Se, Be）及び浸水防止設備（Si, Bi）については、津波による影響を考慮して設計することが要求される。したがって、耐津波設計を行うべき対象を添字により明確に表記することとした。

各設備の具体的な耐津波重要度分類については、「附属書（参考）1.4 各設備の具体的な耐津波重要度分類」による。

(3) 耐津波 A クラス施設の津波防護施設及び浸水防止設備

耐津波 A クラス施設は、一般的に耐津波 S クラス施設を設置する敷地と同じ敷地に設置され、耐津波 S クラス施設を防護するための津波防護施設及び浸水防止設備により耐津波 S クラス施設と同時に防護されるため、耐津波 S クラス施設及び耐津波 A クラス施設を防護するための施設を「津波防護施設（Se）」及び「浸水防止設備（Si）」として定義することとした。

仮に、耐津波 S クラス施設と耐津波 A クラス施設を異なる敷地に設置し、耐津波 A クラス施設のみを防護するための津波防護施設及び浸水防止設備を設置する場合でも、当該津波防護施設及び浸水防止設備を、Se 及び Si に準じた設計とすることも可能である。

(4) 耐津波 A クラス施設の機能維持設計設備

「1.2.5.1 津波の到達、流入に対する防護の基本方針」に後述するとおり、耐津波 A クラス施設に関しては、浸水時の機能維持設計は行わないため、機能維持設計設備

(At) は定義しないこととした。

(5) 確認用津波

間接支持構造物の支持機能が維持されることの確認、又は波及的影響検討設備が耐津波 S、A、B クラスの施設に波及的影響を及ぼさないことの確認に用いる津波を確認用津波と呼称する。

間接支持構造物又は波及的影響検討設備が、津波襲来時において、間接支持構造物が支持する設備又は波及的影響を受けるおそれのある設備の機能に支障を生じさせないことを確認するためのものであり、間接支持構造物が支持する設備又は波及的影響を受けるおそれのある設備が耐津波 S、A クラス施設であれば、確認用津波は基準津波 T_s となり、耐津波 B クラス施設であれば、確認用津波は耐津波 B クラス施設の設計で用いる津波となる。

1.2.5 施設の耐津波設計

1.2.5.1 津波の到達、流入に対する防護の基本方針

(1) 耐津波 S クラス施設

耐津波 S クラス施設は津波の到達、流入による影響に対し、次に示す a.～c.の方針により防護する。

a. 基準津波 T_s の到達、流入の防止

耐津波 S クラス施設を設置する敷地において、以下の方針により基準津波 T_s による遡上波の地上部からの到達及び流入を防止する。また、海と接続する取水路、排水路等からの、同敷地及び耐津波 S クラス施設を内包する建屋への流入を防止する。

① 耐津波 S クラス施設を内包する建屋及び屋外に設置する耐津波 S クラス施設は、基準津波 T_s による遡上波が到達しない場所に設置するか、到達する場所に設置する場合は、当該の敷地に流入することを防止する津波防護施設 (Se)、浸水防止設備 (Si) を設置する。

② 海と接続する取水路、排水路等から津波が流入する可能性について検討した上で、同敷地及び耐津波 S クラス施設を内包する建屋への流入の可能性のある経路（扉、開口部、貫通口等）を特定し、それらに対して浸水対策を実施する。

b. 漏水による浸水範囲の限定

取水・放水施設、地下部等において、漏水する可能性を考慮の上、以下の方針により漏水による浸水範囲を限定して、耐津波 S クラス施設への影響を防止する。

① 取水・放水設備の構造上の特徴等を考慮して、取水・放水施設、地下部等におけ

る漏水の可能性を検討した上で、漏水が継続することによる浸水範囲を想定（以下、「浸水想定範囲」という。）するとともに、耐津波 S クラス施設を内包する建屋及び区画への浸水の可能性のある経路及び浸水口（扉、開口部、貫通口等）を特定し、それらに対して浸水対策を施すことにより浸水範囲を限定する。

② 浸水想定範囲及びその周辺に耐津波 S クラス施設がある場合は、防水区画化するとともに、必要に応じて浸水量評価を実施し、安全機能への影響がないことを確認する。

③ 浸水想定範囲における長期間の冠水が想定される場合は、排水設備を設置する。

c. 防護の多重化・多様化

① 津波による影響からの隔離

以上に加えて、耐津波 S クラス施設について、これを内包する建屋又は区画を浸水防護重点化範囲として明確化するとともに、基準津波 T_s による浸水を考慮した浸水範囲、浸水量を保守的に想定した上で、浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路及び浸水口（扉、開口部、貫通口等）を特定し、それらに対して浸水対策を施すことにより、津波による影響等から隔離する。

② 信頼性向上のための考慮

a. から上記①までの防護の信頼性を総合的に勘案した上で、必要に応じて耐津波 S クラスの施設の機能を維持するための多重化・多様化を図る。

(2) 耐津波 A クラス施設

耐津波 A クラス施設は、津波による影響に対し、「(1) 耐津波 S クラス施設」に示す a. 及び b. の方針により防護する。この場合において、「耐津波 S クラス施設」とあるのは「耐津波 A クラス施設」と読み替えるものとする。

(3) 耐津波 B クラス施設

耐津波 B クラス施設は、その設計に用いる津波を適切に設定し、津波防護施設 (Be) 及び浸水防止設備 (Bi) により当該の津波による影響を抑制することにより必要な機能が維持できるよう設計するか、又は機能維持設計設備 (Bt) として当該の津波による影響が直接作用したとしても必要な機能が維持できるよう設計する。

【解 説】

(1) 津波の到達、流入に対する防護の基本方針の考え方

耐津波 S クラス施設に対する防護の基本方針では、「a. 基準津波 T_s の到達、流入の防止」、「b. 漏水による浸水範囲の限定」及び「c. 防護の多重化・多様化」の三段階の防護により、津波の到達、流入による影響に対して原子炉施設の安全性を確保する。

各防護の目的をそれぞれ以下に示す。

a. 基準津波 T_s の到達、流入の防止

耐津波 S クラス施設を設置する敷地及び耐津波 S クラス施設を内包する建屋に対し、基準津波 T_s による遡上波の地上部からの到達及び流入、基準津波 T_s の海と連接する経路からの流入を防止する。

b. 漏水による浸水範囲の限定

a. の防護を施した上で、施設又は設備の構造上の特徴等のために、それでもなお生じ得る漏水に対し、敷地又は建屋の浸水範囲を限定する。ここでいう漏水には次のような例が含まれる。

- ・ 海水ポンプ軸受部等の施設・設備がその機能を果たす上で必要な隙間部等からの漏水
- ・ a. における防護として海と繋がる敷地及び建屋内の開口部をすべて閉止するような場合に、構造せい弱部の破損防止を目的に設計上の配慮として設ける圧抜きのための開口からの漏水
- ・ アクシデントマネジメントにおいて必要な可搬式設備等により海水を取水するための非常用取水口からの漏水

c. 防護の多重化・多様化

① 津波による影響からの隔離

耐津波 S クラス施設に対して a., b. のさらに内側に設定する防護であり、a., b. の防護の不具合、地震等によるこれらの防護あるいはその他の施設・設備の損傷等を保守的に想定した際に生じ得る基準津波 T_s による敷地又は建屋の浸水に対し、当該 S クラス施設を隔離する。

なお、「保守的な想定」は「1.2.2 基本的考え方」の解説(3)に例示するように、施設及び設備の特徴（劣化モード、機能喪失モード等）に基づき適切に行うことが重要である。

② 信頼性の向上のための考慮

上記①における想定に加え、①の防護の不具合も保守的に想定した際に生じ得る浸水に対する防護であり、多重性・多様性の観点から施設の耐津波性の向上を図ることを目的とする。

ここで、津波による被害の特徴として、共通的な要因により同時に複数の施設及び設備が影響を受け得ることを考慮すると、本防護においては特に、次の例示のような、防護の多様性に配慮することが効果的である。

- ・ 「津波による影響から障壁により隔離」する場合、防潮壁、堰等の「高さ」に依存する障壁に加えて、水密扉等の「強さ」に依存する障壁を追加する。

- ・ 津波による影響から隔離するための障壁が破られることを想定し、電気設備等の耐水設計など、「津波による影響に対して機能維持できる設計」を追加する。

また、耐津波 S クラス施設が浸水し得るという前提に立ち、排水設備等の影響緩和策を備える、あるいは位置的分散に配慮して同等の機能を有する代替の施設を設置することも有効である。

(2) 基本方針の適用にあたっての配慮

耐津波 S クラス施設に対する防護の基本方針は、a.～c.の三段階の防護の組合せにより構成される。

このうち、「a. 基準津波 T_s の到達、流入の防止」にあっては、敷地前面における防潮堤の設置、敷地及び建屋の開口部における防潮壁、閉止板の設置、貫通部の止水処置等が具体的な実施事項となる。

一方、「b. 漏水による浸水範囲の限定」にあっては、例えば、漏水源の近傍に防潮壁を設置するケース、耐津波 S クラス施設を内包する建屋を水密化するケースなど、浸水範囲の想定には自由度があるが、次に示す理由により、原則として浸水範囲を極力小さくするよう配慮することが望ましい。

- ・ 浸水範囲から建屋内へ浸水するリスクを抑えるよう、浸水経路を極力限定する。
- ・ 津波後の復旧活動の作業性（人及び車の移動性、建屋へのアクセス性等）を考慮し敷地における浸水による影響を極力限定する。

ただし、上記の浸水による影響が高い信頼性をもって排除される場合は、浸水範囲は合理的に設定され得る。

また、「c. 防護の多重化・多様化」の考慮にあっては、前段の防護の内容に応じ、さらなる信頼性を付与するものとして設定される。

本基本方針を適用し各段階の防護を設定するにあたっては、以上を踏まえ、全体としての安全性及び合理性が高まるように配慮することが重要である。

(3) 耐津波 A クラス施設の防護方針

耐津波 A クラス施設の防護方針として、(1)a.及び b.に準じた防護を要求事項としているが、併せて(1)c.に準じた防護を実施することを妨げるものではない。

(4) 耐津波 B クラス施設の設計に用いる津波

耐津波 B クラスを設定する目的は、基準津波 T_s に対して耐津波 S クラス施設の設計を行うことに加えて、基準津波 T_s よりも発生頻度が高い津波（基準津波 T_s より津波高さが低い津波）に対して耐津波 B クラス施設の設計を行うことにより、津波により発生するおそれがある放射線による公衆への影響をより低減することであり、津波に対する原子炉施設全体としての安全性をより高めることにある。

耐津波 B クラス施設の設計に用いる津波は、以上の目的に照らし、目指すべき安全

性の程度を踏まえて設定することが重要である。

なお、基準津波 T_s に対する防護方策により、耐津波 B クラスの施設も含めて防護が図られる場合は、耐津波 B クラス施設に対する耐津波設計（耐津波 B クラス施設の設計に用いる津波を設定することによる設計）は基準津波 T_s に対する防護に包含される。

1.2.5.2 津波に対する取水性の維持に係わる設計方針

(1) 水位低下に対する設計方針

取水施設及び海水冷却設備は、基準津波 T_s の水位変動を適切に想定し、水位低下時においても原子炉の冷却に支障を与えないように設計する。

(2) 砂移動に対する設計方針

取水施設及び海水冷却設備は、基準津波 T_s による砂の移動を適切に想定し、原子炉の冷却に支障を与えないように設計する。

【解 説】

(1) 水位低下に対する設計方針

津波時の水位低下により海水面が非常用海水ポンプの取水可能水位を下回る場合には、冷却水の取水が不可能となり原子炉の冷却機能に影響が及ぶ可能性がある。

本項では、このような水位低下時においても原子炉の冷却に支障を与えないことを規定している。

具体的な設計の要求事項については、本規程の「第 6 章 津波による個別の事象に対する耐津波設計」に示す。

(2) 砂移動に対する設計方針

津波時の水位変動に伴う砂の移動・堆積が多い場合には、取水口及び取水路の閉塞又は取水口からの砂の混入による非常用海水ポンプの損傷により、原子炉の冷却機能に影響が及ぶ可能性がある。

本項では、このような水位変動に伴う砂の移動に対して原子炉の冷却に支障を与えないことを規定している。

具体的な設計の要求事項については、本規程の「第 6 章 津波による個別の事象に対する耐津波設計」に示す。

1.2.5.3 津波随件事象に対する設計方針

(1) 漂流物に対する設計方針

原子炉施設は、1.2.4.3(2)d.及び e.で定めた確認用津波により原子炉施設に到達するか、又は原子炉施設において生じる可能性のある漂流物を適切に想定して、その衝突等による影響が及ばないよう設計する。

(2) 火災に対する設計方針

原子炉施設は、津波による外部からの可燃性流体の漂着又は発火、可燃性物質を内包する施設、設備等の破損又は発火、電気設備の被水による発火等を適切に想定し、これらによる火災の影響を受けないよう設計する。

【解 説】

(1) 漂流物に対する設計方針

漂流物による影響としては衝突による被衝突物の構造強度への影響、蓄積し取水口を閉塞させることによる冷却機能への影響等が考えられる。

衝突による影響を及ぼさない設計においては、十分な支持性能・構造強度の確保、係留による漂流の防止、波及的影響が及ぶと想定される施設周辺への衝突防止柵の設置等の対策と、船舶及び車両の退避基準の設定等の運用面の対策とを柔軟に選定ないし組み合わせることが合理的である。

また、閉塞による冷却機能への影響に対しては上記に加えて、取水施設周辺への蓄積防止柵の設置等の対策が考えられる。

漂流物の想定方法及び衝突力の算定方法については、本規程の「第3章 津波による影響」に、また施設・設備の漂流物の衝突に対する設計方法については「第4章 津波防護施設・浸水防止設備の耐津波設計」、「第5章 機器・電気設備の耐津波設計」に示す。

(2) 火災に対する設計方針

津波に随伴して発生し得る火災を防止するため、津波襲来時に発火し、原子炉施設に有意な影響を与える可能性のある可燃性物質を内包する施設、設備等に対しては、津波による影響により漂流又は流出することを防止することが効果的である。また、津波随伴火災の不確定性に鑑み、火災が発生することを予め想定し、消火、延焼防止等の対策を施すことも有効である。

具体的な設計の要求事項は、本規程の「第6章 津波による個別の事象に対する耐津波設計」に示す。

1.2.5.4 耐津波設計で考慮する事象及び運転状態

(1) 津波の継続性

耐津波 S クラス施設及び耐津波 A クラス施設の耐津波設計においては、基準津波 T_s の時刻歴波形を適切に想定し、水位上昇・下降の繰り返しによる影響及びその継続時間を考慮する。また、水位の上昇・下降の影響においては、津波による水位変動に対して朔望平均潮位を考慮する。

(2) 地震

耐津波 S クラス施設及び耐津波 A クラス施設の耐津波設計においては、基準津波 T_s の発生要因である地震を考慮し、当該の地震動を経験した後に基準津波 T_s による影響を受けるものとして設計を行う。このとき、当該の地震による敷地の隆起・沈降を考慮する。

また、基準津波 T_s の襲来時に余震が発生する可能性を検討した上で、必要に応じて余震による影響とその際に想定される基準津波 T_s による影響との組合せを考慮する。

(3) 地震以外の自然現象

耐津波 S クラス施設及び耐津波 A クラス施設の耐津波設計においては、基準津波 T_s の発生確率と地震以外の自然現象の発生確率等の観点から、地震以外の自然現象の考慮可否を適切に判定して設計を行う。

(4) 運転状態

耐津波 S クラス施設及び耐津波 A クラス施設の耐津波設計においては、基準津波 T_s の発生要因である地震により生じる地震動を受けた後の運転状態と基準津波 T_s による影響との組合せを考慮する。

地震以外の自然現象との組合せを考慮する場合は、当該の自然現象を受けた後の運転状態と基準津波 T_s による影響との組合せを考慮する。

【解 説】

(1) 津波の継続性

本規程は、水位上昇時に津波防護施設等に付加される荷重条件、取水施設及び海水冷却設備の冷却機能維持に関わる水位低下の継続時間等の設計条件の設定にあたっては、基準津波 T_s の時刻歴波形に基づき、水位上昇・下降の繰り返し量及び継続時間を適切に考慮することを求めている。

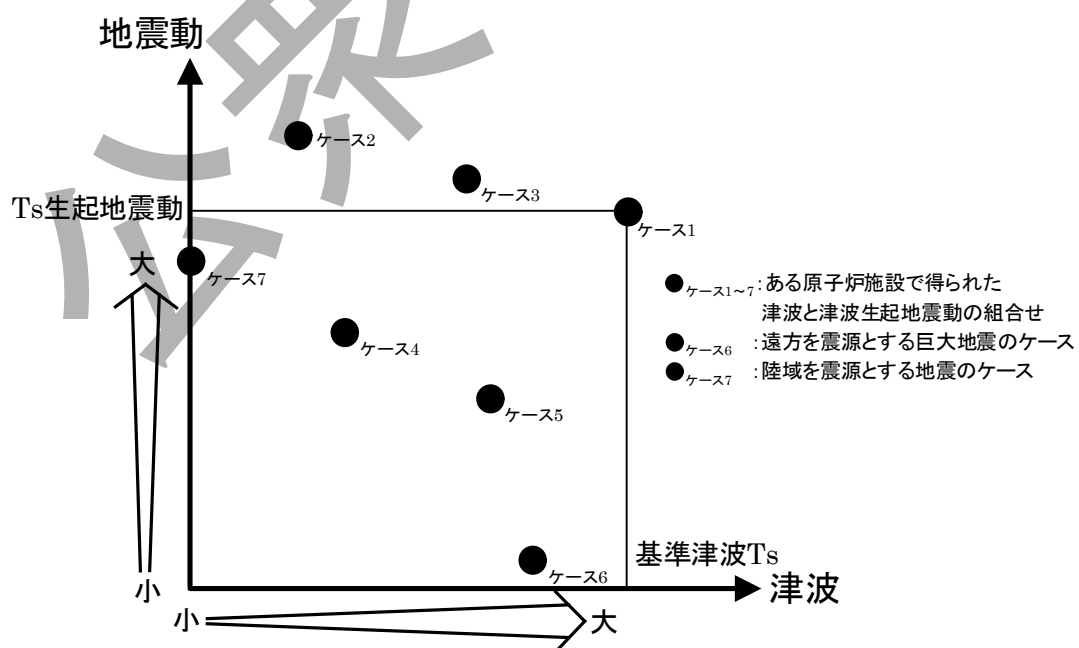
(2) 地震動による影響

津波の発生要因のうち、基準津波 T_s が地震により引き起こされる場合、(以下、基

準津波 Ts を生起する地震を「Ts 生起地震」という。), 原子炉施設は, Ts 生起地震による地震動を受けた後に基準津波 Ts による影響を受けることになるため, 津波防護施設 (Se), 浸水防止設備 (Si) 及び機能維持設計設備 (St) には Ts 生起地震による地震動を受けた状態においても基準津波 Ts に対して求められる機能が維持できるように設計することが求められる。

ここで, 基準津波 Ts は, 基本的には原子力発電所に最も影響を与える津波が選定されることとなるが, Ts 生起地震が原子力発電所に最も影響を与える地震となるとは限らない。したがって本規程の適用にあたっては, 基準津波 Ts と Ts 生起地震による地震動の単純な組合せだけでなく, 地域特性に応じて考慮すべき地震とそれにより生起される津波の各組合せを種々考慮し, 安全側の設計となっていることを確認することが重要である。

解図 1.2.5.4-1 は, ある原子炉施設において得られた地震とそれにより生起される津波の組合せを示す例である。日本近海の地震の場合にはケース 2 のように, 原子力施設における地震動は大きい, 津波による影響は小さくなるケースがある。逆に, 遠方を震源とする地震の場合には, ケース 6 のように, 地震動は小さいが津波による影響が大きくなるケースがある。また, 陸域地震の場合には, ケース 7 のように地震による斜面崩壊等の特殊な状況を除けば津波による影響が小さくなるケースがある。耐津波設計を行う際には, 基準津波 Ts と Ts 生起地震動との組合せを示すケース 1 だけでなく, 津波は小さいが地震動が大きいケース 2,3 の組合せについても慮することが重要である。



解図 1.2.5.4-1 ある原子炉施設における津波と地震動の組合せ

また、津波と地震との組合せとしては、 T_s 生起地震に從属して発生する余震との組合せを考慮することも必要であると考えられることから、本規程においては、津波防護施設（ Se ）、浸水防止設備（ Si ）及び機能維持設計設備（ St ）に対し基準津波 T_s と余震を同時に受けた状態においても求められる機能が維持できるように設計することを求めている。

この場合の余震による荷重としては、原子炉施設の立地地域における特性（余震の震源、ハザード）を考慮し、合理的な頻度、荷重レベルが設定され得ると考えられる。また、津波による荷重との組合せについては、耐津波 S クラス施設及び耐津波 A クラス施設に作用する、基準津波 T_s による最大波圧の時刻と余震による最大地震荷重の時刻が一致する可能性が極めて低いことに鑑み、工学的判断に基づき、基準津波 T_s による持続的な影響と余震による平均的な作用荷重を重畳させる等の合理的な条件を考慮し得るものと考えられる。

なお、防潮堤など、地震により損傷した場合に長期の復旧期間を要する施設については、津波との関連性のない地震に対しても一定の耐性を有することが必要であり、一般的には基準地震動に対する健全性の確保が求められるものと考えられる。

(3) 地震による敷地の隆起・沈降

本規程は、津波の発生要因となる地震により敷地が隆起・沈降することが想定される場合には、基準津波 T_s の見かけの水位が隆起・沈降分だけ変化することから、耐津波設計を行うにあたっては、その影響を考慮することを求めている。

(4) 地震以外の自然現象

津波とその他自然現象との組合せの考え方については、「**軽水型原子力発電所の設計で考慮すべき自然現象とその重畳に関する考え方のガイドライン**」（平成 26 年 9 月、日本保全学会・原子力規制関連事項検討会）にて考え方が纏められている。

耐津波設計における地震以外の自然現象の影響の考慮にあたっては、津波とその他自然現象が各々独立して同時に発生するような事象のみでなく、その他自然現象が発生した一定期間経過後に独立して津波が襲来するといった事象についても、影響を考慮する必要がある。ただし後者については、基準津波 T_s あるいはその他自然現象により、耐津波 S クラス施設が長期間にわたって影響を受ける場合のみ、影響を考慮する必要がある。その影響考慮の例としては、防潮堤など、その他自然現象により損傷した場合に長期の復旧期間を要する施設については、その他自然現象に対しても一定の耐性を有することが必要である。

なお、代替設備の準備、損傷箇所の修理等により、損傷のおそれのある設備が速やかに復旧可能な場合には、その他自然現象が発生した一定期間経過後に独立して津波が襲来するといった事象による影響の考慮は不要である。また、復旧対策以外にも、損傷した設備が復旧するまでプラント運転を停止する等の運用面も含めた対策を実施

することでも影響考慮が不要となる場合もあるため、総合的な対策検討が推奨される。

(5) 津波時に考慮すべき運転状態

Ts 生起地震動により原子炉の緊急停止信号が発信される場合、同地震動を受ける際に原子炉が通常運転状態であれば、停止後の高温待機状態で基準津波 Ts が襲来するものと想定される。一方、同地震動が緊急停止信号を発信しない大きさのものである場合には、原子炉が通常運転状態で基準津波 Ts を受ける。

なお、津波の検知時の運転手順が整備されている場合には、その運転手順により想定される運転状態を考慮する。

Ts 生起地震動により系統水の溢水等の津波以外の溢水が生じる場合は、必要に応じて基準津波 Ts による影響にこれらの事象の影響を重畳させて考える。

1.2.5.5 クラス別施設の許容状態

- (1) St の施設は、基準津波 Ts による影響に対して、その施設の安全機能が維持できること。
- (2) Se 及び Si の施設は、基準津波 Ts による影響に対して津波防護機能又は浸水防止機能が維持できること。
- (3) Bt の施設は、耐津波 B クラスの施設の設計に用いる津波による影響に対して、その施設の機能が維持できること。
- (4) Be 及び Bi の施設は、耐津波 B クラスの施設の設計に用いる津波による影響に対して、津波防護機能又は浸水防止機能が維持できること。

1.3 用語

- ・ 原子炉施設 (1.1.1 適用範囲)
原子炉及びその附属施設⁽¹⁾
- ・ 設計基準対象施設 (1.1.1 適用範囲)
発電用原子炉施設のうち、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生を防止し、又はこれらの拡大を防止するために必要となる施設
- ・ 重大事故等対処施設 (1.1.1 適用範囲)
重大事故に至るおそれがある事故（運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故を除く。）又は重大事故に対処するための機能を有する施設
- ・ 耐津波性 (1.1.1 適用範囲【解説】)
耐津波設計上期待する能力。波力を低減する能力、浸水を防止する能力等。津波による影響に対する耐性
- ・ 東日本大震災 (1.1.2 改定【解説】)
平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震とそれに伴って発生した津波及び余震による災害
- ・ 津波による影響 (1.2.1 耐津波設計の目的【解説】)
浸水、波力、浮力、引き波、砂移動、洗掘等の津波による直接的な影響
- ・ 津波随伴事象 (1.2.1 耐津波設計の目的【解説】)
津波に随伴して発生すると想定される漂流物の衝突、火災等の事象
- ・ 耐津波設計上重要な施設 (1.2.2 基本的考え方)
設計基準対象施設のうち、津波によって発生するおそれがあるその安全機能の喪失に起因する、放射線による公衆への影響の程度が特に大きい施設（耐津波 S クラス施設及び耐津波 A クラス施設）
- ・ 津波防護施設 (1.2.4.3 耐津波重要度分類の適用)
護岸、防潮堤、防潮壁、建屋内・外壁、床等の、津波の遡上、流入又は浸水を防止するための建物・構築物

- ・ 浸水防止設備 （1.2.4.3 耐津波重要度分類の適用）
水密扉，配管・電路貫通部の止水構造等の，津波に対する障壁を形成する建物・構築物と一体となって浸水を防止するための設備，機器等
- ・ 機能維持設計設備 （1.2.4.3 耐津波重要度分類の適用）
津波による影響に対して機能維持できるように設計する設備等
- ・ 波及的影響検討設備 （1.2.4.3 耐津波重要度分類の適用）
耐津波 S，A，B クラス施設へ波及的影響を及ぼす可能性のあるすべての設備等
- ・ 浸水範囲 （1.2.5.1 津波の到達，流入に対する防護の基本方針）
基準津波 Ts 襲来時に，取水・放水施設，地下部等において漏水が生じることにより浸水する範囲
- ・ 浸水想定範囲 （1.2.5.1 津波の到達，流入に対する防護の基本方針）
基準津波 Ts 襲来時に，取水・放水施設，地下部等において漏水が継続した際に浸水することが想定される範囲
- ・ 防水区画 （1.2.5.1 津波の到達，流入に対する防護の基本方針）
浸水想定範囲の内側に耐津波 S，A クラス施設がある場合に，当該施設の浸水を防止するために設ける区画
- ・ 浸水防護重点化範囲 （1.2.5.1 津波の到達，流入に対する防護の基本方針）
耐津波 S クラスの施設を内包する建屋又は区画（機器室等）
- ・ 津波生起地震動 【1.2.5.4 耐津波設計で考慮する事象及び運転状態【解説】】
津波の発生要因となる地震により生じる地震動
- ・ Ts 生起地震動 （1.2.5.4 耐津波設計で考慮する事象及び運転状態【解説】）
基準津波 Ts の発生要因となる地震により生じる地震動
- ・ 超過津波 （附属書（参考）1.1 超過津波対策への推奨事項）
基準津波 Ts を上回る規模の津波

- ・ 建屋水密バウンダリ [4.4.2.2 建屋水密バウンダリとなる設備（水密扉，配管貫通部等）]

屋外が浸水想定範囲となり浸水防護重点化範囲が屋外と接する場合に，浸水防護重点化範囲への浸水を防止するために建屋外壁，浸水防止設備等により構築する浸水防止境界

- ・ 建屋内水密バウンダリ [4.4.2.3 建屋内水密バウンダリとなる設備（水密扉，配管貫通部等）]

建屋内が浸水想定範囲となる場合に，浸水防護重点化範囲への浸水を防止するために建屋内の区画壁，浸水防止設備等により構築する浸水防止境界

注(1) 本規程では，陸上の発電用軽水型原子力発電所の原子炉及びその附属施設をいう。

1.4 単位系

本規程においては、JIS Z8000 (2025)「量及び単位」に規定されている単位を使用する。同一の量に対して複数の SI 単位の使用が認められている場合は、認められている任意の単位を使用してもよい。また、SI 単位以外であっても、ある分野で広く使用され、本規程で使用を認めている慣用単位は使用してもよい。

【解 説】

耐震設計に関係する分野の中には、上記 JIS Z8000 (2025)で SI 単位としての使用が認められていない単位、例えば、応力 (N/mm^2)、速度 (カイン : $\text{kine} = \text{cm/s}$)、加速度 (ガル : $\text{Gal} = \text{cm/s}^2$) を常用している分野がある。例外規定は、こうした現状を考慮したものである。

附属書（参考）1.1 超過津波対策への推奨事項

超過津波に対して、原子炉施設全体としての耐津波性ないし安全機能喪失のリスクを把握した上で、特定の施設の耐津波性の向上及び重大事故等対処施設の運用にあたっての配慮を行うことにより、合理的に実行可能な範囲で、以下の方策により超過津波に起因する重大事故発生のリスク低減を図ることが望ましい。

(1) 特定の施設の耐津波性の向上

重大事故発生防止の観点から有効な耐津波 S クラス施設及び重大事故等対処施設を抽出し、当該施設について個別に耐津波性を強化する。

(2) 重大事故等対処施設の運用における配慮

超過津波に対する原子炉施設の安全機能の維持の観点から設置される重大事故等対処施設の運用にあたり、超過津波により想定される敷地の状態を考慮し、関連する施設等へのアクセス性を早期に確保する手段等を予め準備する。

【解 説】

(1) 超過津波対策

最新の知見を踏まえ科学的合理性に基づいて津波の想定が行われた場合でも、これを上回る規模の津波が発生する可能性を考慮することは、不確実性を有する外的事象に対して重大事故の発生防止あるいは重大事故発生時の影響緩和の観点から重要である。

本規程では、「1.2.2 基本的考え方」において、施設全体としての耐津波性の均衡性を保つことにより、施設全体として一定の設計余裕を保つこととしている。本附属書ではこれに加えて、超過津波に起因する重大事故発生のリスクを合理的に低減させる方策を推奨事項として示している。

なお、超過津波に対する耐津波性ないし安全機能喪失のリスクは、「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2016」（一般社団法人 日本原子力学会）に示される確率論的リスク評価、安全裕度評価等を用いて評価することができる。また、同評価は耐津波性を向上させるべき施設の特定にも活用できる。

(2) 特定の施設の耐津波性の向上

施設全体としての耐津波性の向上に加え、特定の施設の耐津波性を強化することは、超過津波を起因とする重大事故発生のリスク低減の方策として有効な手段である。

耐津波性の強化の方策としては、当該施設の構造強度の強化、当該施設への浸水防止対策の強化又は多重化、当該施設のより高い敷地への施設、安全機能の多様化等が挙げられる。

(3) 重大事故等対処施設の運用における配慮

アクシデントマネジメント対策としては、設計基準対象施設と同様に、本規程で規定する耐津波設計の施策のいずれかの施策あるいはその適切な組合せにより、耐津波Ｓクラス施設の安全機能が喪失した場合の代替手段となる重大事故等対処施設が、超過津波による影響を受けないよう配慮することが考えられる。特に、重大事故等対処施設のうち可搬式のものについては、超過津波により同一の機能を有する複数の設備が同時に影響を受けることがないように、より高い敷地への保管、分散配置等を行うことが有効である。

また、超過津波のもとでは、漂流物の散乱、道路の損傷、開口部の発生、感電の危険等、重大事故対応に必要な設備へのアクセス性を阻害する要因が考えられることから、ホイールローダ・ショベルカー等の重機、砂利・鉄板等の資機材及び施設内の状況を把握する手段（監視手順の整備、監視カメラの設置等）を予め備えることが望ましい。

附属書（参考）1.2 耐津波設計における余裕の考え方

耐津波設計にあたっては、原子炉施設が津波により受ける影響が多様であるとともに、津波荷重が津波防護施設、浸水防止設備及び機能維持設計設備（以下、併せて「津波防護を担う施設」という。）それぞれの許容値を超えた際の影響も一様ではないことを考慮し、実プラントにおける設計においては、津波防護の特徴に応じて各防護施策の設計項目ごとに適切に設計余裕を設定することが重要である。

設計余裕の設定にあたっては、津波防護を担う施設全体に亘って設計余裕を整理し、各施設で均衡の取れた設計とすることで施設全体の耐津波性能を合理的に確保することが重要である。本附属書では、各施設の均衡性に配慮した設計余裕の設定手法例を示す。

なお、ここでいう設計余裕、津波荷重及び耐津波性能とはそれぞれ以下を指している。

設計余裕：津波荷重に対して個々の施設が有する設計上の余裕

津波荷重：津波による影響のうち、津波防護を担う施設の設計条件となるもの

耐津波性能：津波防護を担う施設全体が、津波に起因する外乱に対しどこまで耐性を有するかの設計上の能力

1. 段階的な耐津波設計の実施

耐津波設計においては、津波に対する防護施策の多重性、多様性等を考慮した上で、各津波防護を担う施設の均衡性に配慮した設計とすることで、一定の耐津波性能を確保することが可能となる。

一方で、耐津波設計を初めて実施する段階で防護施策の多重性、多様性等を考慮した設計の最適化を実施しようとした場合、様々なパラメータスタディを実施する必要性が生じ、速やかに耐津波設計を進めることが困難となる可能性がある。

したがって、耐津波設計の実施にあたっては、以下に示すように耐津波設計を「初期設計段階」と「耐津波性能向上段階」の2段階に分類し、段階的に耐津波設計を進めることで、初めて耐津波設計を実施する場合でも速やかな耐津波設計の実施が可能となるとともに、その後の継続的な耐津波性能の向上に期待できる。

(1) 初期設計段階

本文「1.2.5 施設の耐津波設計」に示す方針に基づき、津波防護を担う施設の設計を行う。このとき、後段防護施策の存在は考慮せず、津波防護を担う施設のそれぞれの設計を行う。

なお、ここでいう「後段防護施策」とは、深層防護の考え方における当該防護レベルの次のレベル以降の防護施策を指すのみではなく、同一レベル内で講じられる多重性、多様性等を有する他の防護施策を含む。

(2) 耐津波性能向上段階

初期設計段階を経て設計された津波防護を担う施設について、各防護施策の関連性等を考慮した上で、津波防護を担う施設全体としての耐津波性能を評価する。

評価の結果、特定の津波防護を担う施設が、津波防護を担う施設全体の耐津波性能に対して支配的となっている場合は、当該施設の設計余裕の向上等を実施することで、施設全体として一定の耐津波性能を合理的に確保することが可能となる。

2. 初期設計段階における設計余裕の設定

「1. 段階的な耐津波設計の実施」に記載のとおり、初期設計段階においては、後段防護施策の存在は考慮せず、個々の津波防護を担う施設を設計する。初期設計段階において設計余裕を設定する場合は、以下に示す、「津波荷重が許容値を超えた場合の影響」及び「各プロセスにおける不確かさと保守性」を考慮することにより、初期設計段階であっても、ある程度各施設の均衡性に配慮することが可能となる。

なお、本段階における設計余裕の設定にあたっては、「3. 耐津波性能向上段階における設計余裕の設定」にて後述する耐津波性能向上段階で津波防護を担う施設全体としての耐津波性能を向上させることを前提とし、合理的な設定を行うことも可能である。

2.1 「津波荷重が許容値を超えた場合の影響」と設計余裕の関係

原子炉施設が津波により受ける影響は多様であるため、津波荷重が許容値を超えた際の影響も各防護施策の設計項目ごとに異なったものとなる。初期設計段階における設計余裕の設定にあたっては、この津波荷重が許容値を超えた場合の影響の違いを考慮することでより適切な設計余裕の設定が可能となる。

2.2 「各プロセスにおける不確かさと保守性」と設計余裕の関係

耐津波設計プロセスは附参解図 1.2-1 に示すとおり、主に「津波評価」、「荷重因子算定」、「津波荷重設定」及び「許容値設定（設計余裕設定）」に分類することができる。

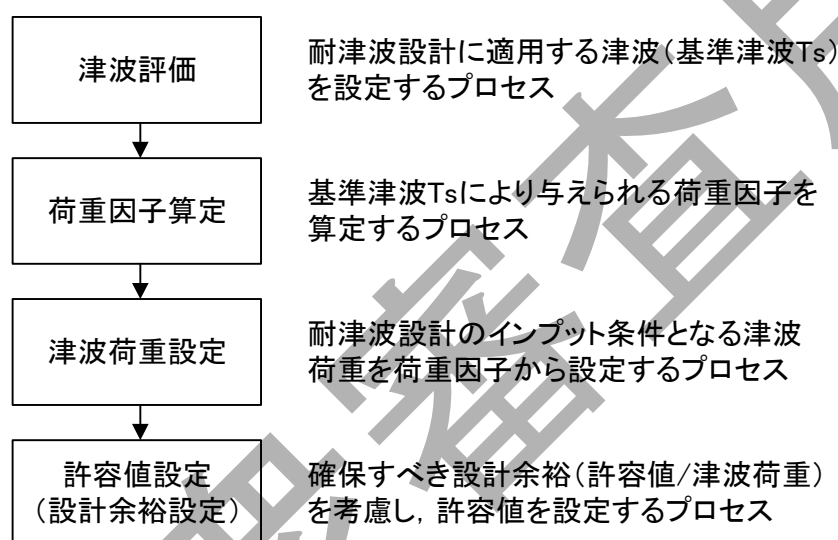
上記各プロセスには一定の不確かさが存在するとともに、基本的には各プロセスで一定の保守性が考慮されている。初期設計段階における設計余裕の設定にあたっては、上記各プロセスにおける不確かさ及び各プロセスで考慮される保守性の関係が定量的に評価可能な場合は、各プロセスにおける不確かさと保守性を考慮することで、より適切な設計余裕の設定が可能となる。

2.3 初期設計段階における設計余裕の設定例

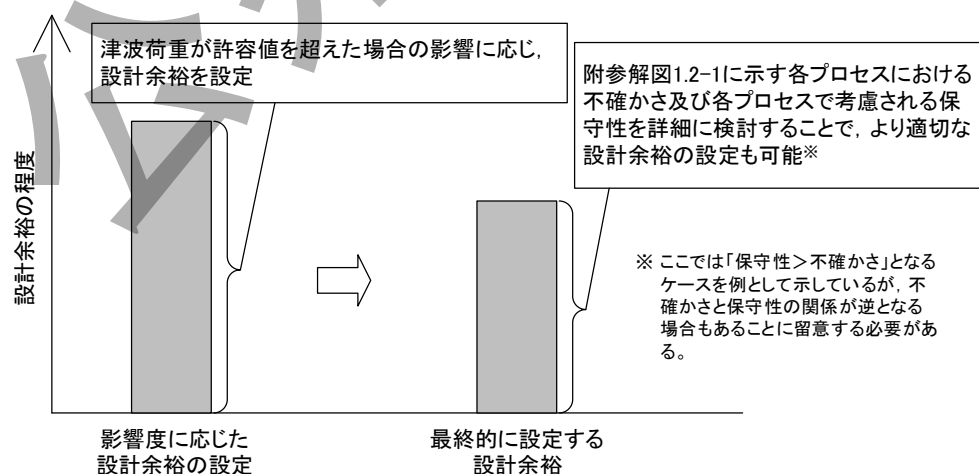
「2.1 『津波荷重が許容値を超えた場合の影響』と設計余裕の関係」及び「2.2 『各プロセスにおける不確かさと保守性』と設計余裕の関係」に記載のとおり、初期設計段階における設計余裕の設定にあたっては、「津波荷重が許容値を超えた場合の影響」を踏ま

えた上で設計余裕の程度を設定するとともに、「各プロセスにおける不確かさと保守性」を考慮し、最終的な設計余裕を設定することでより適切な設計余裕の設定が可能となる。初期設計段階における設計余裕設定の基本的流れを附参解図 1.2-2 に示す。また、初期設計段階における設計余裕の設定例を附参解表 1.2-1 に示す。

ここで、附参解表 1.2-1 に示す設定例は、「各プロセスにおける不確かさと保守性」について、構造強度による設計を行う設備の許容値のように、各プロセスにおける不確かさに対して、各プロセスで考慮される保守性の方が大きいことが明確であって、その大きさがある程度定量的に評価可能なもの（波力、衝突力等に対して構造設計を行うもの）のみ考慮している。



附参解図 1.2-1 耐津波設計プロセス



附参解図 1.2-2 初期設計段階における設計余裕設定の基本的流れ

3. 耐津波性能向上段階における設計余裕の設定

初期設計段階のプロセスを経て設計された津波に対する防護施策が設置されていることを前提とし、「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2016」（一般社団法人 日本原子力学会）に示される確率論的リスク評価，安全裕度評価等を実施し，各防護施策の関連性等を考慮した上で津波防護を担う施設全体としての耐津波性能を評価する。ここで「各防護施策の関連性等を考慮した上で」とは，深層防護の考え方における同一レベル内における設備の関連性を考慮することを意図しており，異なる防護レベルの防護施策の関連性までを考慮することは意図していない。

評価の結果，特定の津波防護を担う施設が，津波防護を担う施設全体の耐津波性能に対して支配的となっている場合は，当該施設について，設計余裕の向上に取り組むことで，施設全体として一定の耐津波性能を合理的に確保することが可能となる。

なお，耐津波性能向上段階における設計にあたっては，特定の防護施策の設計余裕を向上させることに限らず，多重性，多様性等を有する対策を追加するといった方策でも耐津波性能の向上を図ることが可能な点に留意し，適切な方策を選択することで合理的に耐津波性能を向上させることが望ましい。

4. その他考慮事項

津波防護を担う施設として設置する施設ではないが，当該施設の損傷等が原子炉施設の耐津波設計に影響を与え得る施設についても上記の手法を適用し，津波荷重に対して適切な設計余裕を有した設計とする必要があることに留意すべきである。

上記の例としては，熱交換用の海水取水を主目的として設置する非常用海水ポンプについて，当該施設の損傷による建屋内への海水流入が発生することがないように，津波の波力等に対して建屋水密バウンダリ機能維持という観点で適切な設計余裕を確保するといった設計が挙げられる。

附参解表 1.2-1 初期設計段階における設計余裕の設定例

津波防護要求		設計方針	設計項目	津波荷重	許容値	津波荷重が許容値を超えた場合の影響		設計余裕 の程度 ⁽²⁾	
						影響度 ⁽¹⁾	影響度設定の理由		
敷地 への 流入 防止	地上部からの 流入防止	敷地高さによる流入防止	越流に対する設計	津波高さ	敷地高さ	5	・荷重が許容値を超えた場合、即時、広範囲の敷地浸水が発生	5	
			越流に対する設計	津波高さ	防潮堤高さ	5	・荷重が許容値を超えた場合、即時、広範囲の敷地浸水が発生	5	
		防潮堤による流入防止	波力に対する設計	波力	防潮堤耐力	3	・荷重が許容値を多少超えた程度であれば、影響範囲は限定的	2 ⁽³⁾	
			洗掘に対する設計	洗掘	防潮堤耐力	4	・荷重が許容値を多少超えた程度であれば、影響範囲は限定的 (ただし、波力に対してよりも影響範囲は広い)	3 ⁽³⁾	
	取・放水路等から の流入防止	開口部高さによる 流入防止	越流に対する設計	津波高さ	開口部高さ	4～5	・荷重が許容値を超えた場合、即時、敷地浸水が発生 ・開口部設置位置により、影響度が変動	4～5	
		閉止板による流入防止	波力に対する設計	波力 (突上げ荷重)	閉止板耐力	3～4	・荷重が許容値を多少超えた程度であれば、影響範囲は限定的 ・開口部設置位置により、影響度が変動	2～3 ⁽³⁾	
重要な 機器 の 浸水 防止	重要な機器の 浸水防止	水密扉等による重要区画 への流入防止	対策実施範囲	建屋内浸水水位	対策実施高さ	5	・荷重が許容値を超えた場合、即時、重要区画の浸水が発生	4 ⁽⁴⁾	
			静水圧に対する設計	静水圧 (建屋内浸水水位)	水密扉等の 耐力	4	・荷重が許容値を多少超えた程度であれば、影響範囲は限定的 ・荷重が許容値を大きく超えた場合、重要区画の浸水が発生	2 ⁽³⁾⁽⁴⁾	
取水性 確保	引き波に対する 取水性確保	海水系ポンプ吸い込み高さ による取水性低下防止	水位低下に対する設計	津波高さ	ポンプ吸い込 み高さ	4	・荷重が許容値を超えた場合、一時的に冷却系統の機能が喪失するが、 水位が回復した時点で機能は回復	4	
					水位低下に対する (容量)設計	津波高さ 継続時間	貯留容量	4	・荷重が許容値を超えた場合、一時的に冷却系統の機能が喪失するが、 水位が回復した時点で機能は回復
			貯留堰による必要水量の 確保	波力に対する貯留堰の 構造強度設計	波力	貯留堰耐力	3	・荷重が許容値を超えた場合、一時的に冷却系統の機能が喪失するが、 水位が回復した時点で機能は回復 ・荷重が許容値を多少超えた程度であれば、影響度合いは限定的	2 ⁽³⁾
				漂流物衝突力に対する 貯留堰の構造強度設計	衝突力	貯留堰耐力	2	・荷重が許容値を超えた場合、一時的に冷却系統の機能が喪失するが、 水位が回復した時点で機能は回復 ・荷重が許容値を多少超えた程度であれば、影響度合いは限定的 ・荷重が許容値を大きく超えた場合でも、影響範囲は中程度 (貯留堰全体が倒壊するわけではない)	1 ⁽³⁾
			砂堆積に対する 取水性確保	取水口の通水断面積確保	取水口閉塞性評価 (砂堆積高さ評価)	砂堆積高さ	取水口断面積 (高さ)	5	・荷重が許容値を超えた場合、冷却系統が機能喪失する可能性有り
	漂流物化の防止	固定・固縛設計		浮力	固縛設備耐力	1～5	・荷重が許容値を超えた場合、冷却系統が機能喪失する可能性有り (設置場所によっては、漂流しても問題ないという評価が可能な場合有り)	1～4 ⁽³⁾	
				波力	固縛設備耐力	1～5	・荷重が許容値を超えた場合、冷却系統が機能喪失する可能性有り (設置場所によっては、漂流しても問題ないという評価が可能な場合有り)	1～4 ⁽³⁾	
	取水口の通水断面積確保	取水口閉塞性評価 (漂流物堆積量評価)	漂流物堆積量	取水口断面積	5	・荷重が許容値を超えた場合、冷却系統が機能喪失する可能性有り	5		

注(1) 影響度の大小関係を、1～5のレベルで示す(5が最大)。

注(2) 確保すべき設計余裕の程度の大小関係を、1～5のレベルで示す(5が最大)。あくまでもレベルを記載するものであり、確保すべき設計余裕の係数を示すものではない。

注(3) 設計余裕の設定にあたり、許容値に一定の安全率が付加される性質のものであることを考慮し、設計余裕のレベルを1段階下げている。

注(4) 設計余裕の設定にあたり、当該対策が「保守的な浸水」を想定した対策であることを考慮し、設計余裕のレベルを1段階下げている。

附属書（参考）1.3 不確かさを考慮した荷重因子の設定

原子炉施設が津波により受ける影響は多様であり、津波に対する防護の施策も多様なものとなるため、耐津波設計にあたっては、各防護施策の設計項目ごとに津波荷重及び津波荷重の設定に必要なインプット条件となる荷重因子を適切に設定する必要がある。

一方で、基準津波 T_s は基本的に原子力発電所に最も影響を与える上昇側水位（最高水位）及び下降側水位（最低水位）を与えるものが選定されることになるため、津波流速等を基準津波 T_s から算出する場合は不確かさが生じることとなる。

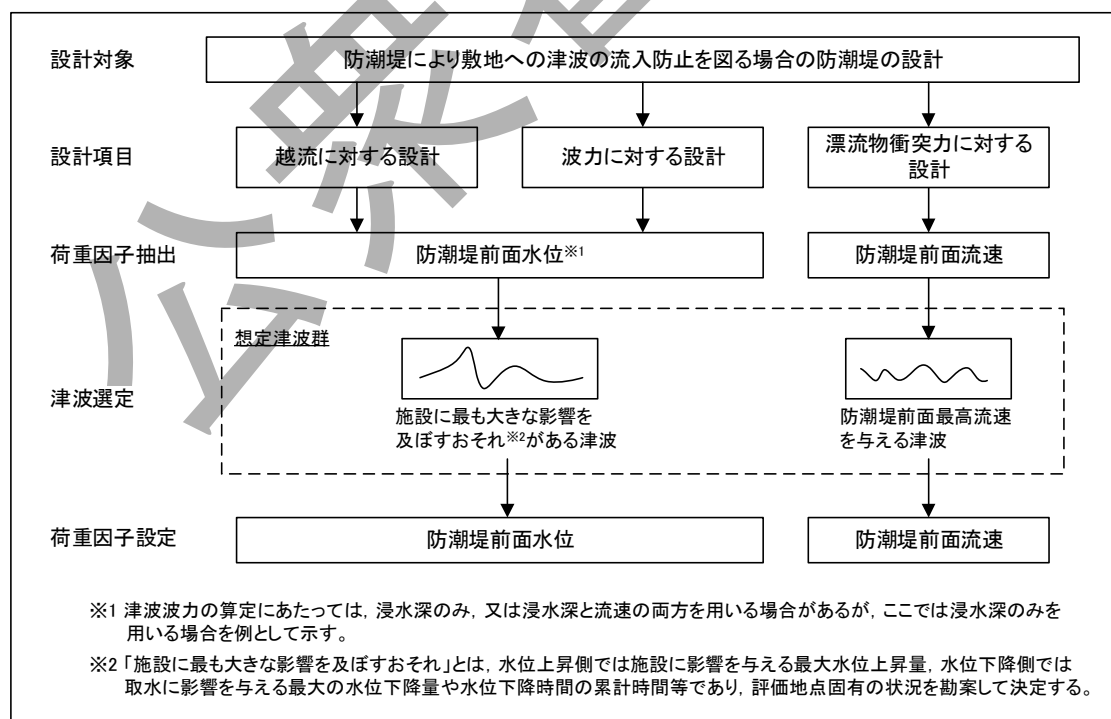
設定した荷重因子から津波荷重を設定する手法については、本文第3章以降に記載し、ここでは上記不確かさを考慮した荷重因子の設定手法例を以下に記載する。

1. 荷重因子ごとに保守的となる津波を選定し各荷重因子を設定する手法

基準津波 T_s の設定にあたり算出されている想定津波群の中から、設計対象及び設計項目ごとに最も保守的となる荷重因子を与える津波を選定し、荷重因子を設定する。

本手法を適用する場合は、水位以外の荷重因子を基準津波 T_s を基にして設定することによる不確かさは生じないこととなる。

なお、荷重因子ごとに保守的となる津波を選定し各荷重因子を設定する手法の概要を附参解図 1.3-1 に示す。



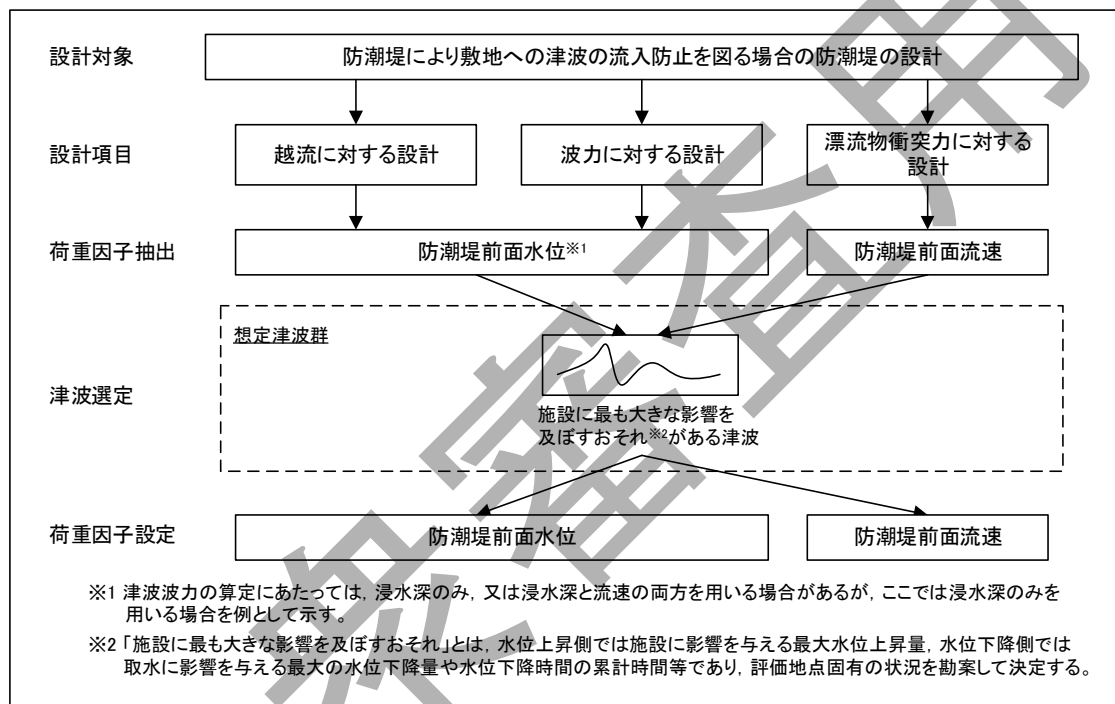
附参解図 1.3-1 荷重因子ごとに保守的となる津波を選定し各荷重因子を設定する手法の概要

2. 基準津波 Ts に基づき全ての荷重因子を設定する手法

最高（最低）水位を与える津波として選定される基準津波 Ts に基づき、水位以外の荷重因子についても設計に用いる荷重因子として設定する。

本手法を適用する場合は、水位以外の荷重因子を基準津波 Ts を基にして設定することによる不確かさが生じるが、その不確かさを踏まえた保守性の確保方法を「2.1 基準津波 Ts に基づき全ての荷重因子を設定する手法における保守性の取扱い」に示す。

なお、基準津波 Ts を用いて全ての荷重因子を設定する手法の概要を附参解図 1.3-2 に示す。



附参解図 1.3-2 基準津波 Ts を用いて全ての荷重因子を設定する手法の概要

2.1 基準津波 T_s に基づき全ての荷重因子を設定する手法における保守性の取扱い

水位以外の荷重因子を基準津波 T_s を基にして設定することによる不確かさを踏まえた保守性の確保方法は主に以下の方法が挙げられる。

なお、基準津波 T_s に基づき全ての荷重因子を設定する際に、以下の方法を適用する場合の例を附参解表 1.3-1 に示す。

- ① 「基準津波 T_s を基にして水位以外の荷重因子を設定することの不確かさ」を踏まえ、保守的となるよう荷重因子を設定する。
- ② 基準津波 T_s により与えられる値を荷重因子として設定し、設備設計を行う際に「基準津波 T_s を基にして水位以外の荷重因子を設定することの不確かさ」を考慮して設計余裕を設定する。

附参解表 1.3-1 基準津波 Ts に基づき全ての荷重因子を設定する手法における保守性の取扱い例（その 1）

津波防護要求		設計方針	設計項目	津波荷重	荷重因子	荷重因子の設定手法
敷地への流入防止	地上部からの流入防止	敷地高さによる流入防止	越流に対する設計	・津波高さ	・水位	・基準津波 Ts による水位（敷地最大遡上高さ）を荷重因子として設定
		防潮堤による流入防止	越流に対する設計	・津波高さ	・水位	・基準津波 Ts による水位（防潮堤前面最高水位）を荷重因子として設定
			波力に対する設計	・波力	・水位 ⁽¹⁾	・基準津波 Ts による水位（防潮堤前面最高水位）を荷重因子として設定
			漂流物衝突力に対する設計	・衝突力	・流速	・基準津波 Ts による流速を荷重因子として設定し、以下に示すいずれかの方法（組合せを含む。）により保守性を確保 ①-1 基準津波 Ts により求まる防潮堤前面流速に対して、一定の割増しした値を荷重因子として設定する。 また、必要に応じ基準津波 Ts よりも保守的な値を与え得る津波を用いて流速を算出し、割増の程度の妥当性を確認する。 ①-2 流速の算出範囲を防潮堤前面に限定せず、より広い範囲（港湾内全域を算出範囲とする等）に設定した上で、最も保守的となる値を荷重因子として設定する。 ② 保守性を考慮しない値を荷重因子として設定し、設備設計を行う際に荷重因子設定の不確かさを考慮した設計余裕を設定する。
			洗掘に対する設計	・洗掘 ⁽²⁾	・流速	同上
	取・放水路等からの流入防止	開口部高さによる流入防止	越流に対する設計	・津波高さ	・水位	・基準津波 Ts による水位（開口部における最高水位）を荷重因子として設定
		閉止板による流入防止	波力に対する設計	・波力 (突上げ荷重)	・水位 ・流速 (上昇速度)	・基準津波 Ts による閉止板設置箇所における流速（水位上昇速度）と基準津波 Ts の水位を荷重因子として設定し、以下に示すいずれかの方法（組合せを含む。）により保守性を確保 ① 基準津波 Ts により求まる値に対して、一定の割増しした値を荷重因子として設定する。 また、必要に応じ基準津波 Ts よりも保守的な値を与え得る津波を用いて水位及び流速を算出し、割増の程度の妥当性を確認する。 ② 保守性を考慮しない値を荷重因子として設定し、設備設計を行う際に荷重因子設定の不確かさを考慮した設計余裕を設定する。

注(1) 津波波力の算定にあたっては、水位のみ、又は水位と流速の両方を用いる場合があるが、ここでは水位のみを用いる場合を例として示す。

注(2) 流速を用いて洗掘に関する津波荷重を算定する場合を例として示す。

附参解表 1.3-1 基準津波 Ts に基づき全ての荷重因子を設定する手法における保守性の取扱い例（その2）

津波防護要求		設計方針	設計項目	津波荷重	荷重因子	荷重因子の設定手法
重要な機器の浸水防止	重要な機器の浸水防止	水密扉等による重要区画への流入防止	対策実施範囲	・浸水水位	・水位 ・継続時間	・基準津波 Ts による水位及び継続時間を荷重因子として設定し、以下に示すいずれかの方法（組合せを含む。）により保守性を確保 ①-1 基準津波 Ts により求まる値に対して、一定の割増しした値を荷重因子として設定する。 また、必要に応じ基準津波 Ts よりも保守的な値を与え得る津波を用いて水位及び継続時間を算出し、割増の程度の妥当性を確認する。 ①-2 基準津波 Ts の最高水位のみを荷重因子として設定する（流入継続時間によらない設計）。 ② 保守性を考慮しない値を荷重因子として設定し、設備設計を行う際に荷重因子設定の不確かさを考慮した設計余裕を設定する。
			静水圧に対する設計	・静水圧（浸水水位）	・水位 ・継続時間	同上
取水性確保	引き波に対する取水性確保	ポンプ吸い込み高さによる取水性低下防止	水位低下に対する設計	・津波高さ	・水位	・基準津波 Ts による水位（ポンプ設置位置における水位）を荷重因子として設定
		貯留堰による必要水量の確保	水位低下に対する（容量）設計	・津波高さ ・継続時間	・水位 ・水位低下継続時間	・基準津波 Ts による水位（海水貯留堰前面水位）及び水位低下継続時間を荷重因子として設定
			波力に対する設計	・波力	・水位 ⁽¹⁾	・基準津波 Ts による水位（海水貯留堰前面水位）を荷重因子として設定
			漂流物衝突力に対する設計	・衝突力	・流速	・基準津波 Ts による流速を荷重因子として設定し、以下に示すいずれかの方法（組合せを含む。）により保守性を確保 ①-1 基準津波 Ts により求まる貯留堰前面流速に対して、一定の割増しした値を荷重因子として設定する。 また、必要に応じ基準津波 Ts よりも保守的な値を与え得る津波を用いて流速を算出し、割増の程度の妥当性を確認する。 ①-2 流速の算出範囲を貯留堰前面に限定せず、より広い範囲（港湾内全域を算出範囲とする等）に設定した上で、最も保守的となる値を荷重因子として設定する。 ② 保守性を考慮しない値を荷重因子として設定し、設備設計を行う際に荷重因子設定の不確かさを考慮した設計余裕を設定する。

注(1) 津波波力の算定にあたっては、水位のみ、又は水位と流速の両方を用いる場合があるが、ここでは水位のみを用いる場合を例として示す。

附参解表 1.3-1 基準津波 Ts に基づき全ての荷重因子を設定する手法における保守性の取扱い例（その 3）

津波防護要求		設計方針	設計項目	津波荷重	荷重因子	荷重因子の設定手法
取水性確保	砂堆積に対する取水性確保	取水口の通水断面積確保	取水口閉塞性評価	・砂堆積高さ	・流向 ・流速	・基準津波 Ts による流向及び流速を荷重因子として設定し、以下に示すいずれかの方法（組合せを含む。）により保守性を確保 ① 基準津波 Ts により求まる値に対して、一定の割増しした値を荷重因子として設定する。 また、必要に応じ基準津波 Ts よりも保守的な値を与え得る津波を用いて流向及び流速を算出し、割増の程度の妥当性を確認する。 ② 保守性を考慮しない値を荷重因子として設定し、設備設計を行う際に荷重因子設定の不確かさを考慮した設計余裕を設定する。
	漂流物堆積に対する取水性確保	漂流物化の防止	固定・固縛設計	・浮力	・水位	・基準津波 Ts による水位（漂流対象物設置位置における水位）を荷重因子として設計
				・波力 (抗力)	・流速	・基準津波 Ts による流速を荷重因子として設定し、以下に示すいずれかの方法（組合せを含む。）により保守性を確保 ①-1 基準津波 Ts により求まる漂流対象物設置位置における流速に対して、一定の割増しした値を荷重因子として設定する。 また、必要に応じ基準津波 Ts よりも保守的な値を与え得る津波を用いて流速を算出し、割増の程度の妥当性を確認する。 ①-2 流速の算出範囲を漂流対象物設置位置に限定せず、より広い範囲（港湾内全域を算出範囲とする等）に設定した上で、最も保守的となる値を荷重因子として設定する。 ② 保守性を考慮しない値を荷重因子として設定し、設備設計を行う際に荷重因子設定の不確かさを考慮した設計余裕を設定する。
		取水口の通水断面積確保	取水口閉塞性評価	・漂流物堆積量	・流向 ・流速	・基準津波 Ts による流向及び流速を荷重因子として設定し、以下に示すいずれかの方法（組合せを含む。）により保守性を確保 ① 基準津波 Ts により求まる値に対して、一定の割増しした値を荷重因子として設定する。 また、必要に応じ基準津波 Ts よりも保守的な値を与え得る津波を用いて流向及び流速を算出し、割増の程度の妥当性を確認する。 ② 保守性を考慮しない値を荷重因子として設定し、設備設計を行う際に荷重因子設定の不確かさを考慮した設計余裕を設定する。

附属書（参考）1.4 各設備の具体的な耐津波重要度分類

原子炉施設を構成する各設備の具体的な耐津波重要度分類は、「1.2.4 耐津波設計上の重要度分類」に従い、次の手順により定める。

- (1) 原子炉施設の各設備を「1.2.4.1 機能上の分類」に従い、施設の機能に応じて耐津波 S クラス、耐津波 A クラス、耐津波 B クラス、耐津波 S, A, B クラス以外に分類する。耐津波 S, A, B クラス以外に分類された設備は、以下の(2)～(5)の手順は不要となる。
- (2) 各設備を「1.2.4.2 耐津波クラス別施設」に従い、クラス別施設に分類する。
- (3) 津波による影響から各設備を防護するため、津波に対する防護方法を「1.2.2 基本的考え方」の施策から選定する。
- (4) 各設備を「1.2.4.3 耐津波重要度分類の適用」に従い設備区分の分類を行い、耐津波重要度分類を決定する。
- (5) 波及的影響検討施設については、耐津波 S, A, B クラス施設へ波及的影響を及ぼす可能性のある全ての設備等として、原子炉施設及び原子炉施設以外の設備等から抽出する。抽出にあたっては、津波防護施設及び浸水防止設備の設置状況を踏まえて判断する。

【解 説】

具体的な耐津波重要度分類例を、附参解表 1.4-1 及び附参解表 1.4-2 に示す。

なお、表に示す具体的な系統名は一例であり、系統構成が異なる場合にはその系統の持つ機能により分類する。

附参解表 1.4-1 原子炉施設の機能別分類と耐津波重要度分類の例（BWR：その1）

耐津波重要度分類 及び定義	クラス別施設	津波に 対する 防護方 法 ⁽¹⁾	主要設備／補助設備				直接支持構造物		間接支持構造物		津波防護施設・浸水防止設備				波及的影響を 考慮すべき施設		
			主要設備		補助設備						浸水防止設備		津波防護施設				
			適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波	適用範囲	耐津波 クラス	関連する 建物・構築物	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波
Sクラス 津波により発生 するおそれがある 事象に対して、 原子炉を停止し、 炉心を冷却する ために必要な機 能を持つ施設、自 ら放射性物質を 内蔵している施 設、当該施設に直 接関係しており その機能喪失に より放射性物質 を外部に拡散す る可能性のある 施設、これらの施 設の機能喪失に より事故に至っ た場合の影響を 緩和し、放射線 による公衆への影 響を軽減するた めに必要な機能 を持つ施設及び これらの重要な 安全機能を支援 するために必要 となる施設であ って、その影響が 大きいもの	(a)「原子炉冷却材圧 力バウンダリ」 (安全設計審査 指針において記 載されている定 義と同様)を構 成する配管・機 器系	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	① 原子炉圧力容器 ② 原子炉冷却材圧力バ ウンダリに属する容 器・配管・ポンプ・弁	S S	① 隔離弁を閉とする ために必要な電気 計装設備	S	① 原子炉圧力容器ス カート ② 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S S	① 原子炉圧力容器ベ デスタル ② 原子炉建屋 ③ 制御建屋	Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 制御建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 軽油タンク及び燃料 輸送ポンプ ② 変圧器 ③ その他 B クラス施設 ④ 危険物関連施設 (ガスボンベ、薬品タ ンク等) ⑤ 上記に係る配管、弁、 支持構造物、付属構造 物等	Ts Ts Ts Ts Ts
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(b) 使用済燃料を貯 蔵するための施 設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		II	① 使用済燃料プール ② 使用済燃料貯蔵ラッ ク	S S	① 燃料プール水補給 設備 (非常用) ② 非常用電源及び計 装設備	S S	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S	① 原子炉建屋	Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 軽油タンク及び燃料 輸送ポンプ ② 変圧器 ③ その他 B クラス施設 ④ 危険物関連施設 (ガスボンベ、薬品タ ンク等) ⑤ 上記に係る配管、弁、 支持構造物、付属構造 物等	Ts Ts Ts Ts Ts
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(c) 原子炉の緊急停 止のために急激 に負の反応度を 付加するための 施設、及び原子炉 の停止状態を維 持するための施 設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		II	① 制御棒、制御棒駆動 機構及び制御棒駆動 水圧系 (スクラム機能 に関する部分)	S S	① 炉心支持構造物 ② 電気計装設備	S S	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S	① 原子炉建屋	Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 軽油タンク及び燃料 輸送ポンプ ② 変圧器 ③ その他 B クラス施設 ④ 危険物関連施設 (ガスボンベ、薬品タ ンク等) ⑤ 上記に係る配管、弁、 支持構造物、付属構造 物等	Ts Ts Ts Ts Ts
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(d) 原子炉の停止後、 炉心から崩壊熱 を除去するため の施設	I	—	—	① エアフイーンクラ	S	—	S	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		II	① 原子炉隔離時冷却系 ② 高圧炉心スプレイ系 ③ 残留熱除去系 (停止時 冷却モードに必要な 設備) ④ 冷却水源としてのサブ レクションプール	S S S S	① 残留熱除去海水系 ② 炉心支持構造物 ③ 非常用電源及び計 装設備	S S S	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S	① 原子炉建屋 ② 海水ポンプ基礎等 の海水系を支持す る構造物 (非常用) ③ 制御建屋	Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 海水ポンプ基礎 等の海水系を支 持する構造物 (非常用) 制御建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 軽油タンク及び燃料 輸送ポンプ ② 変圧器 ③ その他 B クラス施設 ④ 危険物関連施設 (ガスボンベ、薬品タ ンク等) ⑤ 上記に係る配管、弁、 支持構造物、付属構造 物等	Ts Ts Ts Ts Ts
		III	—	—	① 残留熱除去海水系	St	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	① その他 B クラス施設

注(1)：原子炉施設を津波による影響から防護する以下の方法に対応する。

I. 津波による影響が到達しない標高に設置、 II. 津波による影響から障壁により隔離、 III. 津波による影響に対して機能維持できるように設計

附参解表 1.4-1 原子炉施設の機能別分類と耐津波重要度分類の例（BWR：その2）

耐津波重要度分類 及び定義	クラス別施設	津波に 対する 防護方 法 ⁽¹⁾	主要設備／補助設備				直接支持構造物		間接支持構造物		津波防護施設・浸水防止設備						波及的影響を 考慮すべき施設	
			主要設備		補助設備						浸水防止設備			津波防護施設				
			適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波	適用範囲	耐津波 クラス	関連する 建物・構築物	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波	
Sクラス 津波により発生 するおそれがある 事象に対して、 原子炉を停止し、 炉心を冷却する ために必要な機 能を持つ施設、自 ら放射性物質を 内蔵している施 設、当該施設に直 接関係しており その機能喪失に よる事故に至っ た場合の影響を 緩和し、放射線に よる公衆への影 響を軽減するた めに必要な機能 を持つ施設及び これらの重要な 安全機能を支援 するために必要 となる施設であ って、その影響が 大きいもの	(e) 原子炉冷却材圧 力バウンダリ破 損事故後、炉心か ら崩壊熱を除去 するための施設	I	—	—	① エアフィンクーラ	S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			II	① 非常用炉心冷却系 1) 高圧炉心スプレイ系 2) 低圧炉心スプレイ系 3) 残留熱除去系（停止時 冷却モードに必要な 設備） 4) 自動減圧系 ② 冷却水源としてのサブ レッションプール	S S	① 残留熱除去海水系 ② 非常用電源及び計 装設備 ③ 中央制御室の遮へ い及び空調設備	S S S	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S	① 原子炉建屋 ② 海水ポンプ基礎等 の海水系を支持す る構造物（非常用） ③ 制御建屋	Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 海水ポンプ基礎 等の海水系を支 持する構造物 （非常用） 制御建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 軽油タンク及び燃料 輸送ポンプ ② 変圧器 ③ その他 B クラス施設 ④ 危険物関連施設 （ガスボンベ、薬品タ ンク等） ⑤ 上記に係る配管、弁、 支持構造物、付属構造 物等	— Ts Ts Ts Ts
				III	—	—	① 残留熱除去海水系	St	—	—	—	—	—	—	—	—	—	① その他 B クラス施設
	(f) 原子炉冷却材圧 力バウンダリ破 損事故の際、圧力 障壁となり放射 性物質の放散を 直接防ぐための 施設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			II	① 原子炉格納容器 ② 原子炉格納容器バウ ンダリに属する配 管・弁	S S	—	—	① 機器・配管等の 支持構造物	S	① 原子炉建屋	Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 軽油タンク及び燃料 輸送ポンプ ② 変圧器 ③ その他 B クラス施設 ④ 危険物関連施設 （ガスボンベ、薬品タ ンク等） ⑤ 上記に係る配管、弁、 支持構造物、付属構造 物等	— Ts Ts Ts Ts
				III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(g) 放射性物質の放 出を伴うような 事故の際に、その 外部放散を抑制 するための設備 で上記(f)以外の 施設	I	—	—	① エアフィンクーラ	S	—	S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			II	① 残留熱除去系（格納容 器冷却、スプレイモ ード運転に必要な設備） ② 可燃性ガス濃度制御系 ③ 原子炉建屋 ④ 非常用ガス処理系及 び排気口 ⑤ 原子炉格納容器圧力 抑制装置（ダイヤフラ ムフロア、ベント管） ⑥ 主蒸気隔離弁漏洩制 御系 ⑦ 冷却水源としてのサブ レッションプール	S S S S S S S	① 残留熱除去海水系 ② 非常用電源及び計 装設備	S S	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S	① 原子炉建屋 ② 海水ポンプ基礎等 の海水系を支持す る構造物（非常用） ③ 主排気筒 （非常用ガス処理 系の排気口を支 持する場合） ④ 制御建屋	Ts Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 海水ポンプ基礎 等の海水系を支 持する構造物 （非常用） 主排気筒 （非常用ガス処 理系の排気口を 支持する場合） 制御建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 軽油タンク及び燃料 輸送ポンプ ② 変圧器 ③ その他 B クラス施設 ④ 危険物関連施設 （ガスボンベ、薬品タ ンク等） ⑤ 上記に係る配管、弁、 支持構造物、付属構造 物等	— Ts Ts Ts Ts
				III	—	—	① 残留熱除去海水系	St	—	—	—	—	—	—	—	—	—	① その他 B クラス施設

注(1)：原子炉施設を津波による影響から防護する以下の方法に対応する。

I. 津波による影響が到達しない標高に設置、 II. 津波による影響から障壁により隔離、 III. 津波による影響に対して機能維持できるように設計

附参解表 1.4-1 原子炉施設の機能別分類と耐津波重要度分類の例（BWR：その3）

耐津波重要度分類 及び定義	クラス別施設	津波に 対する 防護方 法 ⁽¹⁾	主要設備／補助設備				直接支持構造物		間接支持構造物		津波防護施設・浸水防止設備						波及的影響を 考慮すべき施設	
			主要設備		補助設備						浸水防止設備			津波防護施設				
			適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波 ⁽²⁾	適用範囲	耐津波 クラス	関連する 建物・構築物	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波 ⁽²⁾	
Aクラス 安全機能を有する施設であってSクラス以外の施設のうち、安全重要度が比較的高い施設	(a) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		II	① 主蒸気系（外側主蒸気隔離弁よりタービン主塞止弁） ② 逃がし安全弁排気管	A A	—	—	① 機器・配管等の支持構造物	A	① 原子炉建屋 ② タービン建屋（外側主蒸気隔離弁より主塞止弁までの配管・弁を支持する部分）	Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 タービン建屋 （外側主蒸気隔離弁より主塞止弁までの配管・弁を支持する部分）	① 防潮堤 ② 防潮壁	Se Se	① 軽油タンク及び燃料輸送ポンプ ② 変圧器 ③ 消火設備 ④ 危険物関連施設（ガスボンベ、薬品タンク等） ⑤ 上記に係る配管、弁、支持構造物、付属構造物等	Ts Ts Ts Ts	
			① 主蒸気系及び給水系 ② 原子炉冷却材浄化系	A A	—	—	① 機器・配管等の支持構造物	A	① 原子炉建屋 ② タービン建屋	Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 タービン建屋	① 防潮堤 ② 防潮壁	Se Se	① 軽油タンク及び燃料輸送ポンプ ② 変圧器 ③ 消火設備 ④ 危険物関連施設（ガスボンベ、薬品タンク等） ⑤ 上記に係る配管、弁、支持構造物、付属構造物等	Ts Ts Ts Ts	
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		(b) 放射性物質を内蔵している施設であって放射能インベントリが大きいもの。ただし、内蔵量が少ないか又は貯蔵方式により、その破損によって公衆に与える放射線の影響が周辺監視区域外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			II	① 放射性気体廃棄物処理系（活性炭式希ガスホルドアップ装置）	A	—	—	① 機器・配管等の支持構造物	A	① タービン建屋	Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	タービン建屋	① 防潮堤 ② 防潮壁	Se Se	① 軽油タンク及び燃料輸送ポンプ ② 変圧器 ③ 消火設備 ④ 危険物関連施設（ガスボンベ、薬品タンク等） ⑤ 上記に係る配管、弁、支持構造物、付属構造物等	Ts Ts Ts Ts
	(c) 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設のうち、安全重要度が比較的高いもの	II	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			① 原子炉建屋クレーン ② 燃料取扱設備	A A A	—	—	① 機器・配管等の支持構造物	A	① 原子炉建屋	Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋	① 防潮堤 ② 防潮壁	Se Se	① 軽油タンク及び燃料輸送ポンプ ② 変圧器 ③ 消火設備 ④ 危険物関連施設（ガスボンベ、薬品タンク等） ⑤ 上記に係る配管、弁、支持構造物、付属構造物等	Ts Ts Ts Ts	
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

注(1)：原子炉施設を津波による影響から防護する以下の方法に対応する。
 I. 津波による影響が到達しない標高に設置、 II. 津波による影響から障壁により隔離、 III. 津波による影響に対して機能維持できるように設計
 注(2)：耐津波Bクラス施設の設計に用いる津波をTbとする。

附参解表 1.4-1 原子炉施設の機能別分類と耐津波重要度分類の例（BWR：その4）

耐津波重要度分類 及び定義	クラス別施設	津波に 対する 防護方 法 ⁽¹⁾	主要設備／補助設備				直接支持構造物		間接支持構造物		津波防護施設・浸水防止設備				波及の影響を 考慮すべき施設		
			主要設備		補助設備						浸水防止設備		津波防護施設				
			適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波 ⁽²⁾	適用範囲	耐津波 クラス	関連する 建物・構築物	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波 ⁽²⁾
Bクラス 安全機能を有する施設であってSクラス以外の施設のうち、安全重要度が比較的低い施設	(a) 放射性物質を内蔵している施設であって放射能インベントリが小さいもの。ただし、内蔵量が少ないか又は貯蔵方式により、その破損によって公衆に与える放射線の影響が周辺監視区域外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	① 廃棄物処理設備、ただし、その破損によって公衆に与える放射線の影響が十分小さいものは除く。	B	—	—	① 機器・配管等の支持構造物	B	① 廃棄物処理建屋	Tb	① 水密扉 ② 貫通部止水	Bi Bi	廃棄物処理建屋	① 防潮堤 ② 防潮壁	Be Be	① 軽油タンク及び燃料輸送ポンプ ② 変圧器 ③ 消火設備 ④ 危険物関連施設（ガスボンベ、薬品タンク等） ⑤ 上記に係る配管、弁、支持構造物、付属構造物等	Tb Tb Tb Tb Tb
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	(b) 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設のうち、安全重要度が比較的低いもの	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		II	① 蒸気タービン、復水器、給水加熱器及びその主要配管 ② 復水脱塩装置 ③ 復水貯蔵タンク ④ 燃料プール浄化系 ⑤ 放射線低減効果の大きい遮へい ⑥ 制御棒駆動水圧系（放射性流体を内蔵する部分） ⑦ 制御棒貯蔵ラック	B B B B B B	—	—	① 機器・配管等の支持構造物	B	① 原子炉建屋 ② タービン建屋 ③ タービンベデスタル	Tb Tb Tb	① 水密扉 ② 貫通部止水	Bi Bi	原子炉建屋 タービン建屋 タービンベデスタル	① 防潮堤 ② 防潮壁	Be Be	① 軽油タンク及び燃料輸送ポンプ ② 変圧器 ③ 消火設備 ④ 危険物関連施設（ガスボンベ、薬品タンク等） ⑤ 上記に係る配管、弁、支持構造物、付属構造物等	Tb Tb Tb Tb Tb
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(c) 使用済燃料を冷却するための施設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		II	① 燃料プール冷却系	B	① 原子炉補機冷却系 ② 原子炉補機冷却海水系 ③ 電気計装設備	B B B	① 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	B	① 原子炉建屋	Tb	① 水密扉 ② 貫通部止水	Bi Bi	原子炉建屋	① 防潮堤 ② 防潮壁	Be Be	① 軽油タンク及び燃料輸送ポンプ ② 変圧器 ③ 消火設備 ④ 危険物関連施設（ガスボンベ、薬品タンク等） ⑤ 上記に係る配管、弁、支持構造物、付属構造物等	Tb Tb Tb Tb Tb
		III	—	—	① 原子炉補機冷却海水系	Bt	—	—	—	—	—	—	—	—	—	① その他Bクラス施設	Tb
	(d) 放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注(1)：原子炉施設を津波による影響から防護する以下の方法に対応する。

I. 津波による影響が到達しない標高に設置、 II. 津波による影響から障壁により隔離、 III. 津波による影響に対して機能維持できるように設計

注(2)：耐津波Bクラス施設の設計に用いる津波をTbとする。

附参解表 1.4-2 原子炉施設の機能別分類と耐津波重要度分類の例（PWR：その1）

耐津波重要度分類 及び定義	クラス別施設	津波に 対する 防護方 法 ⁽¹⁾	主要設備／補助設備				直接支持構造物		間接支持構造物		津波防護施設・浸水防止設備						波及的影響を 考慮すべき施設	
			主要設備		補助設備		適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波	浸水防止設備			津波防護施設		適用範囲	確認用 津波	
			適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス					適用範囲	耐津波 クラス	建物・構築物	適用範囲	耐津波 クラス			
Sクラス 津波により発生 するおそれがある 事象に対して、 原子炉を停止し、 炉心を冷却する ために必要な機 能を持つ施設、自 ら放射性物質を 内蔵している施 設、当該施設に直 接関係しており その機能喪失に より放射性物質 を外部に拡散す る可能性のある 施設、これらの施 設の機能喪失に より事故に至っ た場合の影響を 緩和し、放射線 による公衆への影 響を軽減するた めに必要な機能 を持つ施設及び これらの重要な 安全機能を支援 するために必要 となる施設であ って、その影響が 大きいもの	(a)「原子炉冷却材圧 力バウンダリ」 (安全設計審査 指針において記 載されている定 義と同様)を構 成する配管・機 器系	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	① 原子炉圧力容器 ② 原子炉冷却材圧力バウ ンダリに属する容器・ 配管・ポンプ・弁	S S	① 隔離弁を閉とする ために必要な電気 計装設備	S	① 原子炉圧力容器・ 蒸気発生器・1次 冷却材ポンプ・加 圧器の支持構造物 ② 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S S	① 内部コンクリート ② 原子炉建屋 ③ 補助建屋 ④ 制御建屋	Ts Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 補助建屋 制御建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 耐津波 Bクラスの屋 外設備 ② その他屋外設備	Ts Ts	
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	(b)使用済燃料を貯 蔵するための施 設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	① 使用済燃料ピット ② 使用済燃料ラック	S S	① 使用済燃料ピット 水補給設備(非常 用)	S	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S	① 原子炉建屋 ② 補助建屋 ③ 燃料取扱建屋	Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 補助建屋 燃料取扱建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 耐津波 Bクラスの屋 外設備 ② その他屋外設備	Ts Ts	
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	(c)原子炉の緊急停 止のために急激 に負の反応度を 付加するための 施設、及び原子炉 の停止状態を維 持するための施 設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	① 制御棒クラスタ及び 制御棒駆動装置(スク ラム機能に関する部 分) ② ほう酸注入系(移送系)	S S	① 炉心支持構造物及 び制御棒クラスタ 案内管 ② 非常用電源及び計 装設備	S S	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S	① 内部コンクリート ② 原子炉建屋 ③ 補助建屋 ④ 制御建屋 ⑤ ディーゼル建屋	Ts Ts Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 補助建屋 制御建屋 ディーゼル建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 耐津波 Bクラスの屋 外設備 ② その他屋外設備	Ts Ts	
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	(d)原子炉停止後、炉 心から崩壊熱を 除去するための 施設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	① 主蒸気・主給水(主給 水逆止弁より蒸気発生 器2次側を経て、主蒸 気隔離弁まで) ② 補助給水系 ③ 復水タンク ④ 余熱除去系	S S S S	① 原子炉補機冷却水 系 ② 原子炉補機冷却海 水系 ③ 燃料取替用水タン ク ④ 炉心支持構造物 ⑤ 非常用電源及び計 装設備	S S S S S	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S	① 内部コンクリート ② 原子炉建屋 ③ 補助建屋 ④ 制御建屋 ⑤ ディーゼル建屋 ⑥ 海水ポンプ基礎等 の海水系を支持す る構造物	Ts Ts Ts Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 補助建屋 制御建屋 ディーゼル建屋 海水ポンプ基礎 等の海水系を支 持する構造物 (非常用)	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 耐津波 Bクラスの屋 外設備 ② その他屋外設備	Ts Ts	
		III	① 補助給水系 ② 復水タンク	St St	① 原子炉補機冷却海 水系	St	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	St	—	—	—	—	—	—	—	① 耐津波 Bクラスの屋 外設備 ② その他屋外設備	Ts Ts	
	(e)原子炉冷却材圧 力バウンダリ破 損事故後、炉心か ら崩壊熱を除去 するための施設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	① 安全注入系 ② 余熱除去系(ECCS) ③ 燃料取替用水タンク	S S S	① 原子炉補機冷却水 系 ② 原子炉補機冷却海 水系 ③ 中央制御室の遮へ いと空調設備 ④ 非常用電源及び計 装設備	S S S S	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S	① 原子炉建屋 ② 補助建屋 ③ 制御建屋 ④ ディーゼル建屋 ⑤ 海水ポンプ基礎等 の海水系を支持す る構造物	Ts Ts Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 補助建屋 制御建屋 ディーゼル建屋 海水ポンプ基礎 等の海水系を支 持する構造物 (非常用)	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 耐津波 Bクラスの屋 外設備 ② その他屋外設備	Ts Ts	
		III	① 安全注入系 ② 余熱除去系(ECCS) ③ 燃料取替用水タンク	St St St	① 原子炉補機冷却海 水系	St	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	St	—	—	—	—	—	—	—	① 耐津波 Bクラスの屋 外設備 ② その他屋外設備	Ts Ts	

注(1)：原子炉施設を津波による影響から防護する以下の方法に対応する。

I. 津波による影響が到達しない標高に設置、 II. 津波による影響から障壁により隔離、 III. 津波による影響に対して機能維持できるように設計

附参解表 1.4-2 原子炉施設の機能別分類と耐津波重要度分類の例（PWR：その2）

耐津波重要度分類 及び定義	クラス別施設	津波に 対する 防護方 法 ⁽¹⁾	主要設備／補助設備				直接支持構造物		間接支持構造物		津波防護施設・浸水防止設備						波及的影響を 考慮すべき施設	
			主要設備		補助設備						浸水防止設備			津波防護施設				
			適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波	適用範囲	耐津波 クラス	関連する 建物・構築物	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波	
Sクラス 津波により発生 するおそれがある 事象に対して、 原子炉を停止し、 炉心を冷却する ために必要な機 能を持つ施設、自 ら放射性物質を 内蔵している施 設、当該施設に直 接関係しており その機能喪失に より放射性物質 を外部に拡散す る可能性のある 施設、これらの施 設の機能喪失に より事故に至っ た場合の影響を 緩和し、放射線 による公衆への影 響を軽減するた めに必要な機能 を持つ施設及び これらの重要な 安全機能を支援 するために必要 となる施設であ って、その影響が 大きいもの	(f) 原子炉冷却材圧 力バウンダリ破 損事故の際、圧力 障壁となり放射 性物質の放散を 直接防ぐための 施設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		II	① 原子炉格納容器 ② 原子炉格納容器バウン ダリに属する配管・弁	S S	—	—	① 機器・配管等の支 持構造物	S	① 原子炉建屋 ② 補助建屋	Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 補助建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 耐津波 B クラスの屋 外設備 ② その他屋外設備	Ts Ts	
			—	—	① 隔離弁を閉とする ために必要な電気 計装設備	S	① 電気計装設備等の 支持構造物	S	① 制御建屋 ② ディーゼル建屋 ③ 原子炉建屋	Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	制御建屋 ディーゼル建屋 原子炉建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 耐津波 B クラスの屋 外設備 ② その他屋外設備	Ts Ts	
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	(g) 放射性物質の放 出を伴うような 事故の際に、その 外部放散を抑制 するための設備 で上記(f)以外の 施設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	① 格納容器スプレイ系 ② 燃料取替用水タンク ③ アニュラスシール ④ アニュラス空気浄化設 備 ⑤ 格納容器排気筒 ⑥ 安全補機室換気設備 (工学的安全施設に含 まれるもの)	S S S S S S	① 原子炉補機冷却水 系 ② 原子炉補機冷却海 水系 ③ 非常用電源及び計 装設備	S S S	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S	① 原子炉建屋 ② 補助建屋 ③ 原子炉格納容器 ④ 外部遮へい ⑤ 制御建屋 ⑥ ディーゼル建屋 ⑦ 海水ポンプ基礎等 の海水系を支持す る構造物	Ts Ts Ts Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 補助建屋 原子炉格納容器 外部遮へい 制御建屋 ディーゼル建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① 耐津波 B クラスの屋 外設備 ② その他屋外設備	Ts Ts	
		III	① 格納容器スプレイ系 ② 燃料取替用水タンク	St St	① 原子炉補機冷却海 水系	St	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	St	—	—	—	—	—	—	—	① 耐津波 B クラスの屋 外設備 ② その他屋外設備	Ts Ts	

注(1)：原子炉施設を津波による影響から防護する以下の方法に対応する。

I. 津波による影響が到達しない標高に設置， II. 津波による影響から障壁により隔離， III. 津波による影響に対して機能維持できるように設計

附参解表 1.4-2 原子炉施設の機能別分類と耐津波重要度分類の例（PWR：その3）

耐津波重要度 分類及び定義	クラス別施設	津波に 対する 防護方 法 ⁽¹⁾	主要設備／補助設備				直接支持構造物		間接支持構造物		津波防護施設・浸水防止設備						波及的影響を 考慮すべき施設	
			主要設備		補助設備						浸水防止設備			津波防護施設				
			適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波 ⁽²⁾	適用範囲	耐津波 クラス	関連する 建物・構築物	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波	
A クラス 安全機能を有 する施設であ って S クラス 以外の施設の うち、安全重 要度が比較的 高い施設	(a) 原子炉冷却材圧力 バウンダリに直接接 続されていて、一次 冷却材を内蔵してい るか又は内蔵しうる 施設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		II	① 化学体積制御系のうち 抽出系と余剰抽出系	A	—	—	① 機器・配管等の支 持構造物	A	① 補助建屋 ② 内部コンクリート ③ 原子炉建屋	Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	補助建屋 原子炉建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① その他屋外設備	Ts	
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	(b) 放射性物質を内蔵 している施設であっ て放射能インベント リが大きいもの。た だし、内蔵量が少な いか又は貯蔵方式に より、その破損によ って公衆に与える放 射線の影響が周辺監 視区域外における年 間の線量限度に比べ 十分小さいものは除 く。	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	① 放射性気体廃棄物処理 系 (活性炭式希ガスホー ルドアップ装置、ガスサ ージタンク)	A	—	—	① 機器・配管等の支 持構造物	A	① 原子炉建屋 ② 補助建屋 ③ 廃棄物処理建屋	Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 補助建屋 廃棄物処理建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① その他屋外設備	Ts	
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(c) 放射性廃棄物以外 の放射性物質に関連 した施設で、その破 損により、公衆及び 従事者に過大な放射 線被ばくを与える可 能性のある施設のう ち、安全重要度が比 較的高いもの	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	① 補助建屋クレーン ② 使用済燃料ピットク レーン ③ 燃料取替クレーン ④ 燃料移送装置	A A A A	—	—	① 機器・配管等の支 持構造物	B	① 原子炉建屋 ② 内部コンクリート ③ 補助建屋	Ts Ts Ts	① 水密扉 ② 貫通部止水	Si Si	原子炉建屋 補助建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Se Se Se	① その他屋外設備	Ts	
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注(1)：原子炉施設を津波による影響から防護する以下の方法に対応する。

I. 津波による影響が到達しない標高に設置、 II. 津波による影響から隔壁により隔離、 III. 津波による影響に対して機能維持できるように設計

注(2)：耐津波 B クラス施設の設計に用いる津波を Tb とする。

附参解表 1.4-2 原子炉施設の機能別分類と耐津波重要度分類の例（PWR：その4）

耐津波重要度 分類及び定義	クラス別施設	津波に 対する 防護方 法 ⁽¹⁾	主要設備／補助設備				直接支持構造物		間接支持構造物		津波防護施設・浸水防止設備						波及的影響を 考慮すべき施設	
			主要設備		補助設備						浸水防止設備			津波防護施設				
			適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波 ⁽²⁾	適用範囲	耐津波 クラス	関連する 建物・構築物	適用範囲	耐津波 クラス	適用範囲	確認用 津波	
Bクラス 安全機能を有 する施設であ ってSクラス 以外の施設の うち、安全重 要度が比較的 低い施設	(a) 放射性物質を内蔵 している施設であ って放射能インベ ントリが小さいもの。た だし、内蔵量が少な いか又は貯蔵方式に より、その破損によ って公衆に与える放 射線の影響が周辺監 視区域外における年 間の線量限度に比べ 十分小さいものは除 く。	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		II	① 廃棄物処理設備、ただ し、その破損によつて 公衆に与える放射線 の影響が十分小さいも のは除く。	B	—	—	① 機器・配管等の支 持構造物	B	① 原子炉建屋 ② 補助建屋 ③ 廃棄物処理建屋	Tb Tb Tb	① 水密扉 ② 貫通部止水	Bi Bi	原子炉建屋 補助建屋 廃棄物処理建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Be Be Be	① その他屋外設備	Tb	
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	(b) 放射性廃棄物以外 の放射性物質に関連 した施設で、その破 損により、公衆及び 従事者に過大な放射 線被ばくを与える可 能性のある施設のう ち、安全重要度が比 較的低いもの	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	① 使用済燃料ピット水浄 化系 ② 化学体積制御系、ただ し、Aクラスに属する もの及びその破損によ つて公衆に与える放射 線の影響が十分小さい ものは除く。 ③ 放射線低減効果の大 きい遮へい	B B B	—	—	① 機器・配管等の支 持構造物	B	① 原子炉建屋 ② 内部コンクリート ③ 補助建屋	Tb Tb Tb	① 水密扉 ② 貫通部止水	Bi Bi	原子炉建屋 補助建屋	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Be Be Be	① その他屋外設備	Tb	
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	(c) 使用済燃料を冷却 するための施設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	① 使用済燃料ピット水冷 却系	B	① 原子炉補機冷却水 系 ② 原子炉補機冷却海 水系 ③ 電気計装設備	B B B	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	B	① 原子炉建屋 ② 補助建屋 ③ 燃料取扱建屋 ④ 海水ポンプ基礎等 の海水系を支持す る構造物	Tb Tb Tb Tb	① 水密扉 ② 貫通部止水	Bi Bi	原子炉建屋 補助建屋 燃料取扱建屋 海水ポンプ基礎 等の海水系を支 持する構造物 (非常用)	① 防潮堤 ② 盛土 ③ 防潮壁	Be Be Be	① その他屋外設備	Tb	
		III	—	—	① 原子炉補機冷却海 水系	Bt	① 機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	Bt	—	—	—	—	—	—	—	① その他屋外設備	Tb	
	(d) 放射性物質の放出 を伴うような場合 に、その外部放散を 抑制するための施設 で、Sクラスに属さ ない施設	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

注(1)：原子炉施設を津波による影響から防護する以下の方法に対応する。

I. 津波による影響が到達しない標高に設置、 II. 津波による影響から障壁により隔離、 III. 津波による影響に対して機能維持できるように設計

注(2)：耐津波 B クラス施設の設計に用いる津波を Tb とする。

第2章 耐津波設計の手順

2.1 耐津波 S クラス施設の設計手順

- (1) 策定された基準津波 T_s を入力とし、津波の発生要因となる地震による敷地の隆起・沈降を考慮に入れた上で遡上解析を行い、敷地への津波の遡上を評価する。
- (2) (1)の結果に基づき「整地面レベルの設定」、「建屋、機器配置計画」(プロットプラン)を行い、耐津波 S クラス施設を内包する建屋及び屋外に設置する耐津波 S クラス施設を、基準津波 T_s による遡上波が到達しない十分高い敷地に配置するか、到達する敷地に配置する場合は、当該の敷地に流入することを防止する耐津波 S クラスの津波防護施設 (Se)、耐津波 S クラスの浸水防止設備 (Si) を設置する。
- (3) Se, Si は、(1)の津波遡上解析の結果に基づき設計条件を設定し、これに対して津波防護機能又は浸水防止機能が維持できるように設計する。また、漂流物となり波及的影響を考慮する必要がある設備等(波及的影響検討設備)を特定するとともに、Se, Si への漂流物の衝突が避けられない場合はその衝突力を評価し、これに対して津波防護機能又は浸水防止機能が維持できるように設計するか、又は影響が生じないような措置を講じる。
- (4) Se, Si 等の人工構造物、取水・放水施設等の海と接続する経路を含めた条件により遡上解析を再度実施し、耐津波 S クラス施設を設置する敷地、耐津波 S クラス施設を内包する建屋内における浸水の状態、取水施設における基準津波 T_s の影響(水位低下、砂移動を含む)を評価する。
- (5) (4)の結果に基づき、耐津波 S クラス施設を設置する敷地及び内包する建屋への流入の可能性のある経路(扉、開口部、貫通口等)を特定し、それらに対して Se, Si を設置する。
Se, Si は、(4)の結果に基づき設計条件を設定し、これに対して津波防護機能又は浸水防止機能が維持できるように設計する。
- (6) 取水・放水設備の構造上の特徴等を考慮して、取水・放水施設、地下部等における漏水の可能性を検討した上で、漏水が継続することによる浸水範囲を評価・設定する。その上で耐津波 S クラス施設を内包する建屋及び区画への浸水の可能性のある経路及び浸水口(扉、開口部、貫通口等)を特定し、それらに対して Se, Si を設置することにより浸水範囲を限定する。
Se, Si は、評価・設定した浸水範囲(浸水想定範囲)に対して津波防護機能又は浸水防止機能が維持できるように設計する。
- (7) (6)において設定した浸水想定範囲又は周辺に耐津波 S クラス施設を配置する場合は、防水区画化するとともに、必要に応じて浸水量評価を実施し、安全機能に影響が及ばないよう設計する。また、浸水想定範囲における長期間の冠水が想定される場合は、排水設備を設置する。
- (8) 耐津波 S クラス施設に対して、これを内包する建屋又は区画を浸水防護重点化範囲として設定するとともに、基準津波 T_s による浸水を考慮した浸水範囲、浸水量を保守的

に設定する。その上で浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路及び浸水口（扉，開口部，貫通口等）を特定し，それらに対して Se, Si を設置することにより耐津波 S クラス施設を津波による影響等から隔離する。

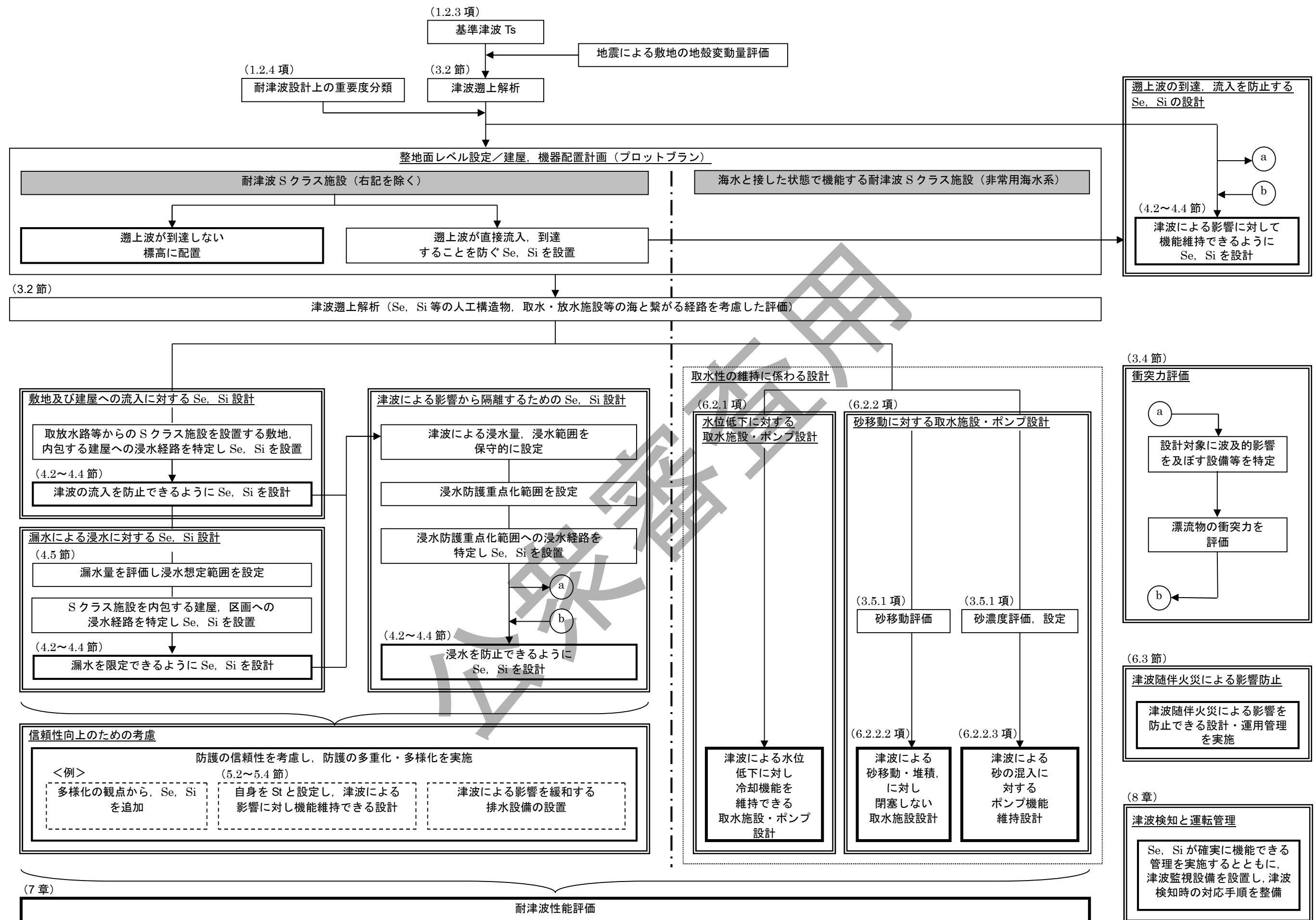
Se, Si は，保守的に設定した浸水範囲，浸水量に対して津波防護機能又は浸水防止機能が維持できるように設計する。

- (9) 以上で設定した防護の信頼性を総合的に勘案した上で，必要に応じて耐津波 S クラスの施設の機能を維持するための多重化・多様化を図る。
- (10) 海水と接した状態で機能する非常用海水系の取水施設及び非常用海水ポンプを，(4)で求めた基準津波 T_s による水位低下に対して原子炉の冷却機能が維持できるように設計する。また，(4)で求めた砂移動（砂の混入）に対して閉塞及び損傷しないように設計する。
- (11) 耐津波 Se, Si, St クラス施設の設計にあたっては，津波による外部からの可燃性流体の漂着又は発火，可燃性物質を内包する施設，設備等の破損又は発火，電気設備の被水による発火等を適切に想定し，これらによる火災の影響を受けないよう設計する。
- (12) 原子炉施設の耐津波設計が一通り完了した段階で，耐津波性能評価を行い，原子炉施設全体として均衡のとれた耐津波性能が達成されていることを確認する。

【解 説】

本節は本規程における耐津波 S クラス施設に対する耐津波設計の手順を示すものである。津波防護対象の選定，津波防護方針の設定，津波防護施設等の設計条件設定，津波防護施設等の設計，耐津波性能評価等の耐津波設計の一連の流れ及び各設計要素の具体的な内容の本規程における記載箇所を解図 2.1-1 に示す。

なお，実際に耐津波設計を実施する際にあたっては，「原子力安全のためのマネジメントシステム規程」（JEAC4111-2021）において規定される，設計管理プロセス等にも留意する必要がある。



解図 2.1-1 耐津波 S クラス施設の設計手順

2.2 耐津波 A クラス施設の設計手順

耐津波 A クラス施設は、基準津波 T_s に対して、「2.1 耐津波 S クラス施設の設計手順」に示す手順のうち、(1)～(7)、(11)及び(12)に従い設計する。この際、「耐津波 S クラス施設」とあるのは「耐津波 A クラス施設」と読み替えるものとする。

2.3 耐津波 B クラス施設の設計手順

耐津波 B クラス施設は、その設計に用いる津波を適切に設定した上で、耐津波 S クラス施設の設計と同様に、耐津波 B クラスの津波防護施設 (Be) 及び耐津波 B クラスの浸水防止設備 (Bi) により当該の津波による影響を抑制することにより必要な機能が維持できるよう設計するか、又は当該の津波による影響が直接作用したとしても必要な機能が維持できるよう設計する。

第3章 津波による影響

3.1 基本事項

3.1.1 適用範囲

本章で定める事項は、原子炉施設の耐津波設計のうち、海岸付近に伝播する津波及び陸上に遡上する津波による影響の把握に適用する。

【解 説】

原子炉施設の耐津波設計においては、まず、津波が敷地付近に襲来する状況について設定する必要がある。原子炉施設の耐津波設計において考慮する津波（基準津波 T_s ）については、別に策定されるものとし、これにより津波断層モデル、沖合等での水位変化を設定することができる。

本章では、この津波が沖合から襲来し、原子炉施設の海岸付近に伝播する現象及び陸上に遡上する現象について、その影響の把握に適用する。

3.1.2 基本的な考え方

津波が海岸付近に伝播する現象及び陸上に遡上する現象において、海岸付近若しくは陸上にある建物・構築物及び機器・配管の耐津波設計の基礎となる諸量は、適切な数値シミュレーションあるいは水理模型実験により求める。

【解 説】

海岸付近又は陸上にある建物・構築物及び機器・配管の耐津波設計においては、水位、流速、浸水範囲などの基本的な諸量が必要であり、対象とする水理現象が的確に表現できる数値シミュレーションによりそれらを求めることが一般的であるが、水理模型実験により求めることも可能である。

3.1.3 準用する基準類

海岸付近に伝播する津波及び敷地に遡上する津波による影響の把握にあたり，準用あるいは引用する基準類の適用版は以下による。

- ① 防波堤の耐津波設計ガイドライン(2015) 国土交通省
- ② 津波浸水想定の設定の手引き(2023) 国土交通省
- ③ 津波の河川遡上解析手法を活用した防災対策検討の進め方(2009)
財団法人 国土技術研究センター
- ④ 原子力発電所の津波評価技術(2016) 土木学会

3.2 津波の伝播・遡上

3.2.1 津波の伝播・遡上の基本的考え方

津波が海岸付近に伝播する現象及び陸上に遡上する現象について、水位、流速、浸水範囲などは、適切な津波の数値シミュレーションにより求めることを基本とする。

【解 説】

津波が海岸付近に伝播する現象及び陸上に遡上する現象の把握にあたっては、その水理現象が的確に表現できる手法を用いることが重要である。波源域で発生した津波が海域を伝播し、沿岸に到達して陸域に遡上する一連の挙動を数値計算によって知ることができる津波の数値シミュレーションは、水位、流速、浸水範囲などを求めるにあたって、有効な手法である。数値シミュレーションは、近年、計算機の発達とともに数多く実施されてきており、その検証も多く一般的には信頼性は高いものと考えられる。

原子炉施設の安全設計において考慮すべき津波については、津波断層モデル、沖合等での水位変化は別に策定されるものとし、3.2節では、対象とする津波が海岸付近に伝播する現象及び陸上に遡上する現象に対する数値シミュレーションについて記載する。

津波の伝播・遡上の数値シミュレーションは一般的には一定の信頼性があるものとされているが、地形的な特異性を有するなど、十分な知見が得られていないと考えられる場合には、数値シミュレーションの妥当性の確認のため、水理模型実験を行うことがある。

なお、水理模型実験により津波の水位、流速、浸水範囲などを評価することも可能である。

3.2.2 基本方程式と計算スキーム

津波の数値シミュレーションでは、その現象に関する計算精度、計算に要する時間等を考慮して、適切な基礎方程式と計算スキームを選択する。

(1) 津波の数値シミュレーションに適用される基礎方程式〔附属書（規定）3.1 近地津波伝播を対象とした基礎方程式と計算スキーム〕

- ① 線形長波理論
- ② 非線形長波理論（浅水理論）
- ③ 分散波理論

(2) 近海伝播・遡上を対象とした基礎方程式と計算スキーム

近海伝播・遡上を対象とする場合、水深 200m 以浅の海域を目安に非線形長波理論を適用した基礎方程式を選定することを基本とする。

沖合に設置する防波堤などソリトン分裂による波力の増大の影響を受ける場合の構造物の設計においては、分散波理論式を用いてこの影響を考慮する。

【解 説】

(1) 津波の数値シミュレーションに適用される基礎方程式

津波は、水深に比べて波長が長いことから、長波として記述される。長波の理論には主に以下の三つの理論があり、再現すべき現象に応じて適切に使い分ける。これらの理論は三次元の基礎方程式を鉛直方向に積分して導かれた平面二次元場の基礎方程式である。

近年、流体解析技術の発達に伴い、三次元の基礎方程式を直接計算する三次元流体解析モデル(三次元モデル)を適用することも可能になりつつあり、計算機のさらなる発達により将来的には三次元モデルが実用的になる可能性はある。ただし、津波の発生、海洋伝播及び陸上遡上の三つの過程をすべて、三次元モデルで実施することは、計算負荷が多大であり、現状では実用的とはいえない。また、長波理論を用いれば、深海域を含む一定の水深以上の海域において津波伝播現象は高精度に再現され、沿岸域での津波高及び津波挙動に対してもその再現性は十分に実用的である。よって、3.2 節では長波理論に基づいた平面二次元場を基礎方程式とする数値計算モデル(平面二次元モデル)による津波シミュレーション手法について記載する。

① 線形長波理論

波高と水深の比が小さい（非線形性が無視できる）場合に適用する。運動方程式は非定常項と圧力項（静水圧分布）からなる。海底摩擦が無視できない場合は摩擦項を考慮する。

② 非線形長波理論（浅水理論）

波高と水深の比が小さくない（非線形性が無視できない）場合に適用する。運動方程式は非定常項、圧力項（静水圧分布）及び移流項からなり、浅海域における波の前傾化が考慮できる。通常、海底摩擦も無視できないため、摩擦項も同時に考慮する。水平渦動粘性項を導入することもある。

③ 分散波理論

伝播に伴い津波波形の曲率が大きくなり水粒子の鉛直方向加速度が無視できず、波の分散性が現れる場合に適用する。①に分散項を加えたものを線形分散波理論、②に分散項を加えたものを非線形分散波理論という。

(2) 近海伝播・遡上を対象とした基礎方程式と計算スキーム

近海伝播・遡上を対象とする場合、水深 200m 以浅の海域を目安（首藤(1986)^(3.2.2-1)）に非線形長波理論を適用した基礎方程式を選定する。計算スキームとしては、差分化の際の計算誤差を評価する方法がほぼ確立していることから、平面二次元のスタッガード格子を用いた陽的差分法（後藤・小川(1982)^(3.2.2-2)の方法など）が採用されることが一般的である。

なお、有限要素法等を適用してもよいが、適用する場合は、予め計算誤差を適切に評価し、上記の方法と同等以上の計算精度を有することを確認する。

津波が水深の浅い海域を伝播するのに伴い、波形、水深等の条件によっては、波の峰が前傾化する非線形効果と周期の短い波が波本体から後方に取り残される分散効果の相乗効果により、津波本体が周期の短い複数の波に分裂し波高が増幅する現象が生じることがある。これをソリトン分裂という。沖合に設置する防波堤などソリトン分裂による波力の増大の影響を受ける場合の構造物の設計においては、分散波理論式を用いてこの影響を考慮する。

なお、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」（国土交通省(2015)^(3.2.2-3)）では、これを考慮する条件は、「おおむね入射津波高さが水深の 30%以上（シミュレーション等による津波高さが水深の 60%以上）で、かつ海底勾配が 1/100 以下程度の遠浅である場合と考える。」とされている。また、(1)に記したように近年では三次元流体解析が行われるようになってきており、急激な地形変化など三次元的な流動が生じる可能性があると考えられる場合など、長波近似を用いない非静水圧モデルの三次元流体解析を用いることがある。ただし、計算負荷が大きいため、断面二次元解析との接続又は局所領域に限定した利用方法などの工夫がされる。〔附属書（参考）3.1 三次元流体解析の適用〕

3.2.3 数値シミュレーションの実施

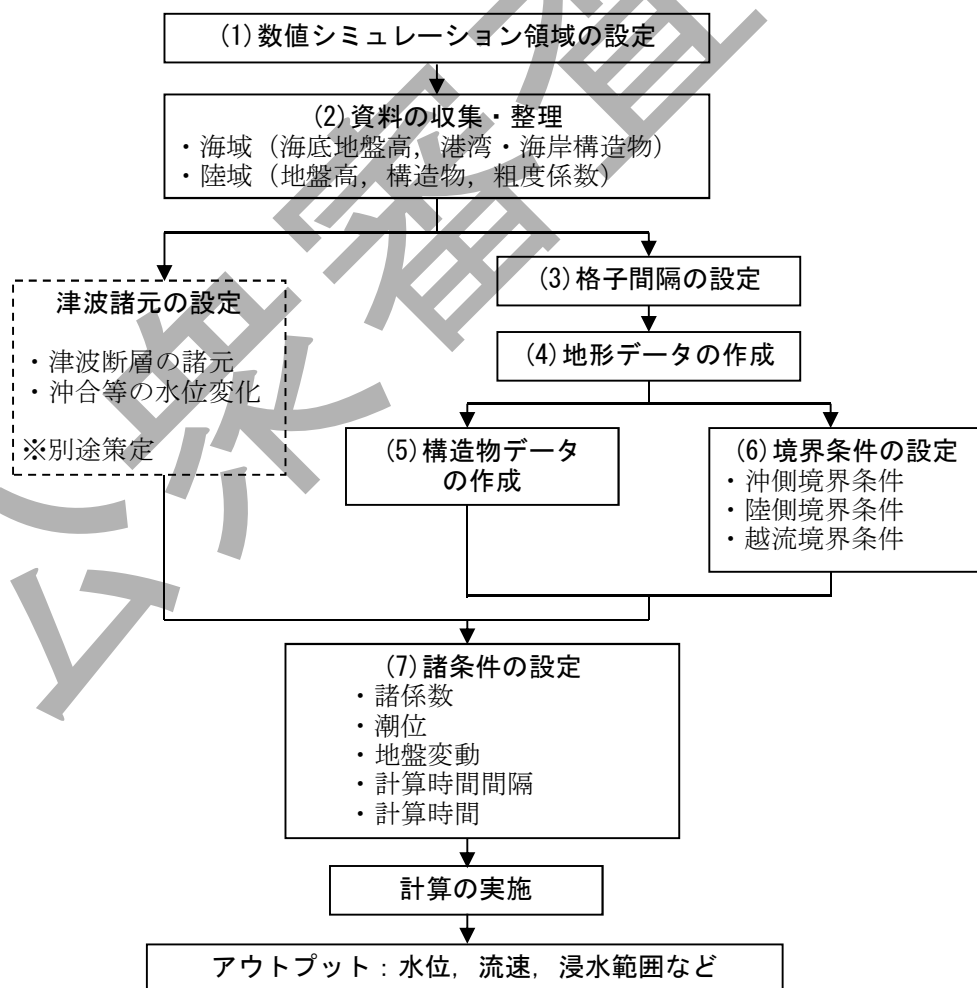
3.2.3.1 解析事項

数値シミュレーションにあたっては、次の事項を適切に実施する。

- (1) 数値シミュレーション領域の設定
- (2) 資料の収集・整理
- (3) 格子間隔の設定
- (4) 地形データの作成
- (5) 構造物データの作成
- (6) 境界条件の設定
- (7) 諸条件の設定

【解 説】

数値シミュレーションの手順を以下に示す。



解図 3.2.3.1-1 数値シミュレーションの手順

3.2.3.2 数値シミュレーション領域の設定

津波の数値シミュレーションにおける計算領域は、波源域の大きさ、津波の空間波形、海底・海岸地形の特徴、対象地区周辺の微地形、構造物等を考慮して、津波の挙動を精度良く推計できるよう適切に設定する。また、屈折、反射、遡上等が精度よく推計できるよう、津波の数値シミュレーションにおける計算領域は、海底・海岸地形の特徴、対象地区周辺の微地形、構造物等を考慮して適切に設定する。

【解 説】

津波の数値シミュレーションにおいて基準津波 T_s を設定する場合には、津波断層モデルを設定する方法の他、別途計算された沖合等の水位の時刻歴変化を設定する場合があるが、津波の数値シミュレーションにおける計算領域は、波源域の大きさ、津波の空間波形を考慮し、津波の挙動を精度良く推計できるよう適切に設定することが重要である。

3.2.3.3 計算格子間隔

計算格子間隔は、屈折、反射、遡上等の津波の挙動を精度良く推計できるように設定する。

海域においては、外洋では津波の1波長は数十 km～数百 km のオーダーであるが、沿岸部で水深が小さくなるにつれて波長が短くなるため、これに合わせて順次細かい計算格子間隔を用いる。

陸域においては、斜面勾配 α 、周期 T 、重力加速度 g を用いた次式によって、格子間隔 (Δx) を設定してもよいが、局地的な地形も再現されていることが必要となることから、最小計算格子間隔は 10m 程度より小さくすることを目安とする。

$$\frac{\Delta x}{\alpha g T^2} \leq 7 \times 10^{-4} \quad (\text{マンニングの粗度係数 } n = 0.03 \text{ m}^{-1/3} \text{ s の場合})$$

河川域については、蛇行部などの形状を適切に再現できるよう河道の横断方向に 5 格子程度以上を確保することを目安とする。

【解 説】

津波の空間波形に基づき格子間隔を設定する際を目安として、長谷川ら(1987)^(3.2.3-1)が提案した方法、すなわち、津波空間波形の1波長の1/20以下を格子間隔として設定する方法がある。屈折現象の影響が大きいと判断される領域については、津波の空間波形の1波長の1/100以下の計算格子間隔が必要となる場合がある。

海域においては、津波の空間波形及び地形の状況に応じて、異なる計算格子間隔の領域を接続して同時に計算する方法（ネスティング）が用いられることが多い。このような接続計算では、小領域で発生した短波長成分の一部が大領域に伝播せず再反射してしまう影響を軽減するため、成分格子間隔を1/3あるいは1/2等の割合で小さくしていくことが多い。

3.2.3.4 地形データの作成

海域及び陸域の地形は津波の伝播及び遡上に大きく影響を与えるため、適切な地形データを用いる。

地形データは、津波浸水シミュレーションによって得られる浸水の区域及び水深に影響を与えることから、地形データは、最新のものとなるよう努める。異なる地形データ資料の接合部については、現地の地形状況などを踏まえて、適切に処理する。

【解 説】

(1) 水深データ

近年の広範囲を対象とする音響測深技術の発達及び衛星通信による位置測定技術により、水深分布の測定技術は飛躍的に向上している。海底地形データとしては、海上保安庁、一般財団法人日本水路協会等の海底地形データが活用できる。また、深浅測量などの個別の測量データについてもその精度を確認の上用いることができる。

(2) 遡上域地形データ

陸域地形データとしては、国土地理院又は一般財団法人日本地図センターの数値地図を活用することができるが、海岸付近の地形精度は必ずしも十分ではないことに注意する。また、個別の測量データについてもその精度を確認の上用いることができる。

3.2.3.5 構造物データの作成

数値シミュレーションにあたっては、津波の挙動を適切に表現できるよう、構造物、海岸堤防、防波堤等に関する影響を反映する。

(1) 建物などの構造物及び線的構造物

建物などの構造物については、その大きさと計算格子間隔との大小関係に応じて起伏のある地形データとして扱う等の方法により適切に反映する。

海岸堤防、防波堤等の線的構造物については、その大きさに応じて、地形データ若しくは越流条件で考慮する。

(2) 耐震性・耐津波性の考慮

津波は多くの場合地震後に襲来することから、構造物の耐震性によりその状況を考慮する。また、盛土構造物等では津波が越流した場合に洗掘が想定されることがある。このため、構造物の耐津波性について、程度に応じてその状況を津波の数値シミュレーションに考慮する。

(3) 取放水設備から敷地内への流入・流出

敷地内には、海とつながっている経路がある場合が多い。この経路を特定するとともに、津波の数値シミュレーションにおいては、その程度に応じて海水の流入・流出を考慮する。

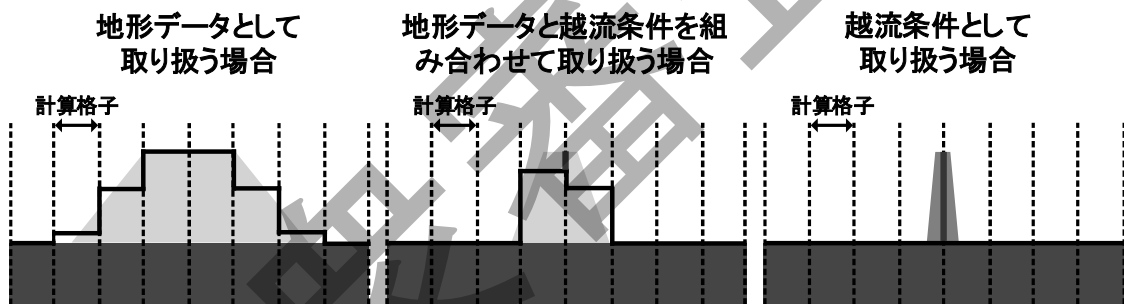
取放水設備のモデル化は、管路、開水路及び水槽の基礎方程式を用いるなど、必要に応じて津波の数値シミュレーションと組み合わせて評価する。〔附属書（規定）3.2 取放水設備を対象とした基礎方程式〕

【解 説】

津波の伝播過程又は遡上過程にあつて、建物などの構造物、海岸堤防、防波堤等の線的構造物は、津波の挙動に影響を与えることがある。特に、線的構造物は、津波の流れを遮り、方向を変えるなど、比較的影響が大きいので注意する。線的構造物の例を以下に示す。

- ・ 海岸堤防、盛土等
- ・ 防潮堤、防波堤等
- ・ 河川堤防等

津波浸水シミュレーションにおいて、構造物の大きさに応じた取扱いについて、解図 3.2.3.5-1 に示す。海岸堤防、防波堤等の線的構造物について、その大きさに応じ、計算格子間隔より幅が広い線的構造物は、その高さを各計算格子に与えて地形データとして取り扱うのが一般的である。一方、計算格子間隔より幅が狭い線的構造物は、計算格子間に壁があるもの（格子境界）として整理し、その高さを越流条件で考慮することが一般的である。また、消波ブロックを積み上げた透過性の離岸堤等については、施設がないものとして扱うことが一般的である。



解図 3.2.3.5-1 津波浸水シミュレーションにおける構造物の取り扱い例

3.2.3.6 境界条件の設定

数値計算にあたっては、計算領域、海底・海岸地形、構造物等を考慮して、次に示す境界条件を適切に設定する。

(1) 沖側境界条件

計算領域は有限の範囲を選択せざるを得ないため、人為的に沖側・側方に開境界を設け、津波が境界のない場合と同じ挙動を示すよう適切に設定する。

(2) 陸側境界条件

海域と陸域の境界条件については、完全反射条件及び陸上遡上境界条件を必要な解析精度に応じて適切に設定する。

(3) 越流境界条件

防波堤、海岸堤防・護岸等の構造物を越流する際の境界条件については、越流の状況に応じて適切に設定する。

【解 説】

(1) 沖側境界条件

沖側境界条件の設定としては以下の方法がある。

なお、沖側境界としては、側方境界を含めて沖側境界と称する。

a. 近海での沖側境界から波を入射する方法

津波の数値シミュレーションにおける基準津波 T_s の設定において、別途計算された沖合等の水位の時刻歴変化を設定する場合には、その波形の入射波成分を沿岸計算用の計算格子（近地津波と同様の格子）の沖側境界に与えることができる。また、検潮記録から逆算した時系列波形を上記同様に沖側境界に与える方法もある。

b. 計算領域内から領域外へ向かう波が存在する場合の境界条件

解析領域内に波源域が存在する場合の境界条件として、特性曲線法をもとに誘導される自由透過の条件（後藤・小川(1982)^(3.2.2-2)）を与えることができる。また、適切なパラメータを設定することによって吸収境界条件（例えば、Cerjan et al.(1985)^(3.2.3-2)）等を適用することもできる。

その他の自由透過の条件としては、境界に仮想的な完全反射の壁面を設定し、そこで発生する重複波の半分が透過波成分と等しいという原理を利用（日野・仲座(1988)^(3.2.3-3)）して、与えることができる。この時、壁面の位置を工夫して設置すると高い精度の結果が得られる（今村(2001)^(3.2.3-4)）。

なお、特性曲線法と仮想的完全反射条件については、領域外から計算領域内へ向かう波が共存する場合にも適用できる。ただし、後者については、沖合境界に対する入射角が直角に近い条件で適用可能である。

(2) 陸側境界条件

海域と陸域の境界条件については、完全反射境界条件と陸上遡上境界条件があり、当該地点に与える影響が軽微なところは完全反射境界条件とすることができる。

a. 完全反射境界条件

陸上部への遡上を考慮しない場合は、汀線を鉛直無限壁と考えて汀線に直角な方向の線流量をゼロとする。つまり、完全反射の条件を採用する。ただし、この条件を用いる場合は、汀線に隣接する海側格子の海底が引き波の際に露出しないように十分な水深が存在する必要がある。この水深が小さい場合は、引き波時に海底面の露出を考慮し、次の押し波時に次項で述べる陸上遡上境界条件を用いることができる。

b. 陸上遡上境界条件

陸上斜面への遡上を考慮する場合、浅い海域の引き波の際等は、津波先端部での地形を格子間隔幅の階段状に近似し、計算過程で時刻ステップごとに階段上に水があるか否かを判別する。従来は、岩崎・真野(1979)^(3.2.3-5)の方法が広く用いられており、この方法の要点は次のとおりである。

- ・津波の先端は、水位と格子境界(4 辺)での最大静水深の和が正の格子とゼロ又は負の格子の境界にある。
- ・線流量を計算するための格子境界での全水深は、両側の格子の高い方の水位と格子境界での静水深の和として求める。
- ・水のない格子中点とその背後格子の水位を結ぶ直線が水面勾配の一次近似であるとして線流量を計算する。全水深がゼロ又は負の場合には線流量をゼロとする。
- ・全水深がゼロに近づいた場合には移流項を省略する。

小谷ら(1998)^(3.2.3-6)は、上述の計算方法を改良して下記の方法を示しており、実務で広く用いられている。

- ・流量を計算するための全水深は、先端部での水位と dry 計算点の地盤高の差とする。その差が負の場合には流量をゼロとする(遡上しない)。
- ・移流項の計算の際に全水深がゼロ又はある下限値より小さくなった場合には、その全水深を分母として持つ項のみを省略し、移流項の計算を行う。

(3) 越流境界条件

a. 防波堤等を格子の地盤高で表現する場合

防波堤等を格子地盤高で表現できる場合には、防波堤等を越流する際の境界条件として、前節で述べた陸上遡上境界条件を適用することができる。

b. 防波堤等を格子間の境界で表現する場合

① 本間公式 (本間(1940)^(3.2.3-7))

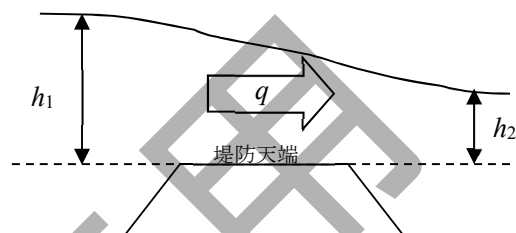
計算領域内に防波堤・防潮堤が存在し、水位がその天端高を越えた場合、天端高を基準とした堤前後の水深を h_1 , h_2 ($h_1 > h_2$)とすると、越流状態に応じて堤単位長さ当たり越流量 q を以下のように求めることができる(岩崎ら(1981)^(3.2.3-8), 後藤・小川(1982)^(3.2.2-2))。

(完全及び不完全越流)

$$q = \mu h_1 \sqrt{2gh_1} \quad h_2 \leq \frac{2}{3}h_1$$

(潜り越流)

$$q = \mu' h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad h_2 > \frac{2}{3}h_1$$



解図 3. 2. 3. 6-1 本間公式の説明図

ここに, $\mu = 0.35$, $\mu' = 2.6\mu$, 重力加速度 g

なお、越流しない防波堤・防潮堤では、それを鉛直無限壁とする完全反射条件を与え、堤に直角方向の線流量をゼロとする。

② 相田公式 (相田(1977)^(3.2.3-9))

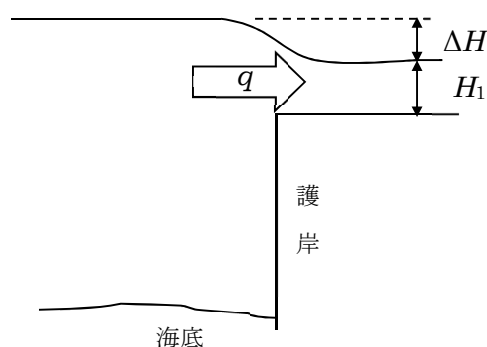
汀線に護岸が存在する場合には、潜堤の場合のように流量係数 C_1 を用い、護岸内側への堤単位長さ当たり越流量 q を以下のように求めることができる。

$$q = C_1 H_1 \sqrt{g\Delta H}$$

ここに, H_1 : 護岸上面からの水位

ΔH : 不連続箇所での水位差

$C_1 = 0.6$



解図 3. 2. 3. 6-2 相田公式の説明

3.2.3.7 諸条件の設定

津波の数値シミュレーションにあたっては、次の諸条件を適切に設定する。

(1) 諸係数

津波の数値シミュレーションに用いる係数としては、摩擦項に与える係数、水平渦動粘性係数があり、また、合理的に数値計算を行うために津波先端の最低水位の条件を設けるが、これらについては想定される状況に応じて適切に設定する。

(2) 潮位

水位上昇の検討においては、潮位(天文潮)は満潮を考慮するものとし、H.W.L.(朔望平均満潮位)を基本とする。ポンプの取水性検討など水位低下の検討においては、潮位(天文潮)は干潮を考慮するものとし、L.W.L.(朔望平均干潮位)を基本とする。

(3) 地盤変動

地震によって陸域が沈降する場合には、断層モデルから沈降量を算定し、その結果を用いて陸域の地形データの高さから差し引くことを基本とする。

一方、地震による陸域の隆起が想定される場合には、隆起量は考慮しないことを基本とする。ただし、ポンプの取水性検討など水位低下の検討においては、地震による沈降が想定される場合には沈降量は考慮せず、地震によって陸域が隆起する場合には隆起量を考慮することを基本とする。

(4) 計算時間間隔

解析における計算 1 ステップあたりの計算時間間隔は、計算の安定性等を考慮して CFL 条件を満たすように設定する。

(5) 計算時間

津波浸水シミュレーションの計算時間は、津波の特性等を考慮して、最大の浸水の区域及び水深が得られるように設定する。

【解 説】

(1) 諸係数

a. 摩擦項に関係する係数

摩擦項に与える係数は解表 3.2.3.7-1 を参考に設定することができる。

解表 3.2.3.7-1 摩擦項に与える係数

係数の名称	文献で示されている値	原子炉施設の設計津波水位 評価でよく用いられる値
マニングの 粗度係数 n ($\text{m}^{-1/3} \text{s}$)	岩崎・真野(1979) ^(3.2.3-5) : 海域 0.03 後藤・佐藤(1993) ^(3.2.3-10) : 海域 0.025 小谷ら(1998) ^(3.2.3-6) : 遡上域 (次のとおり) 高密度居住区 0.08 中密度居住区 0.06 低密度居住区 0.04 森林域 0.03 田畑域 0.02	海域 0.03 遡上域 0.03
摩擦係数 k_b	田中(1985) ^(3.2.3-11) : 深海域 0.0026 浅海域 0.005~0.01 遡上域 0.01~0.5	深海域 (15m 以深目安) 0.0026 浅海域 (15m 以浅目安) 0.00637 遡上域 0.01

b. 水平渦動粘性係数

水平渦動粘性係数が $10 \text{ m}^2/\text{s}$ ($10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$) 以下であれば、ゼロの場合に比べて水位低下率が 5% 程度以下であるので、水位変化を評価対象とする場合には、最大値として $10 \text{ m}^2/\text{s}$ ($10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$) を目安とすることができる。

なお、田中の方法(田中(1985)^(3.2.3-11))では、水平渦動粘性係数としては経験的に $10 \text{ m}^2/\text{s}$ ($10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$) を採用している。

c. 津波先端に関係する水深

理論上は、津波先端部の水深がゼロとなったときに新たにそこが露出域になるが、実際には、数値計算誤差に起因した微小水深により意味のない計算を継続することもある。また、遡上した津波の先端部は水深がごく小さいため、摩擦項及び移流項の分母が小さくなり、数値計算が発散しやすくなる。

そこで、①先端の水深をゼロとみなして計算を実行しないように「打ち切り水深」を設定したり、更に、②摩擦項及び移流項に代入する水深をある水深より小さくならないように「仮想水深」を設定する方法が用いられる。今津ら(1996)^(3.2.3-12)は打ち切り水深及び仮想水深に関する研究を行っており、設定にあたって参考とすることができる。

(2) 潮位

津波は、沿岸に到達した際、潮位が高いほど陸上へ遡上しやすくなるため、浸水の区域及び水深が増大する。津波浸水想定を設定するための津波浸水シミュレーションでは、起こり得る浸水の区域及び水深を過小に想定しないようにするため、潮位(天文潮)には

H.W.L.(朔望平均満潮位)が一般的に用いられる。ただし、津波高さを把握するのみの場合については、解析結果について朔望平均満潮位を足し合わせる方法でもよい。

原子炉施設については、ポンプの取水性検討など水位低下の検討が必要であり、その場合の潮位(天文潮)は安全側の評価として、L.W.L.(朔望平均干潮位)を基本とする。ただし、津波高さを把握するのみの場合については、解析結果について朔望平均干潮位を差し引くこともできる。

なお、高潮については、井上ら(2013)^(3.2.3-13)では津波と同時に発生することにより水位に有意な影響を生じる確率は津波単独の発生確率の更に数オーダー下の確率であった例を示している。高潮の検討においては、その発生履歴を検討し、津波と高潮の重畳を考慮する場合には、高潮の再現期間を設定することになる。

(3) 地盤変動

地盤が低いほど津波は遡上しやすくなるため、地震によって陸域が沈降する場合には、その沈降量の分だけ地盤及び構造物の高さが低くなり、津波がより陸域に遡上しやすくなる条件となることから、安全側の検討として、断層モデルから沈降量を算定し、その結果を用いて陸域の地形データの高さから差し引くこととする。

一方、地震による陸域の隆起が想定される場合には、津波がより陸域に遡上しにくくなる条件となるが、安全側の評価としては、想定される最大の浸水域・浸水深が得られるよう、隆起量は考慮しないこととする。ただし、ポンプの取水性検討など水位低下の検討においては、地震による沈降が想定される場合には沈降量は考慮せず、地震によって陸域が隆起する場合には隆起量を考慮することとする。

海域においては、地震後の海底地形を再現するため、断層モデルから算出される沈降量及び隆起量を考慮するが、沈降量及び隆起量を考慮しない陸域との不連続を作らないようにするため、必要に応じて陸域との境界で地形のスージングすることもある。内閣府(2012)^(3.2.3-14)では、陸域の隆起量をゼロとし、海岸からの距離が 10 km の範囲で海底の隆起量を低減しスムーズに接続している。

(4) 計算時間間隔

CFL 条件とは、波動数値計算における一般的な安定条件であり、以下には平面二次元数値計算の場合の条件を示す。

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{\max}}}$$

ここに、 Δx : 空間格子間隔

Δt : 時間格子間隔

$h_{\max}$: 最大水深

g : 重力加速度

通常、複数の大きさの格子を接続して時間格子間隔一定で一度に数値計算を行うことから、まず Δx が同じである領域ごとに CFL 条件を満たすように Δt を求め、最終的には最小の Δt 以下を時間格子間隔として採用することになる。ただし、実際に計算を行う場合は、数値誤差又は現象の非線形性が介在するため、 Δt は $\Delta x / \sqrt{2gh_{\max}}$ に比べて余裕をもって小さく設定する。特に、浸水深が小さくなる沿岸域等で高速流が現れる場合の計算を行う際には、津波伝播速度 $\sqrt{gh_{\max}}$ よりも流速値の方が大きくなり計算の発散につながることもある。

(5) 計算時間

津波は第一波が最大とは限らず、津波の初期水位及び沿岸での挙動によっては、第二波以降に浸水の区域又は水深が最大になることに注意が必要である。

3.3 津波波力

3.3.1 津波波力の基本的考え方

建物・構築物及び機器・配管が津波による波力を受けた場合にも要求される安全機能を維持できることを確認するため、適切な方法により構築物に作用する津波波力を評価する。

津波波力については、対象構築物の設置状況（位置、他の構築物の配置、周辺地形等）を十分考慮の上、周辺と敷地内における津波水位、流速の時間変動等の情報に基づき、適切な評価式を用いて圧力分布又は波力を求める。

【解 説】

構築物に作用する津波波力は、対象構築物の設置位置によって、①防波堤等の海中構築物に作用する津波波力と②陸上構築物に作用する津波波力とに大別できる。対象構築物の設置位置によって、波力の取り扱い方が異なるので、設置位置に応じた適切な評価式に基づいて津波波力を評価する。海中構築物に作用する津波波力については、3.3.2 項に、陸上構築物に作用する津波波力については3.3.3 項に示す。

なお、十分な知見が得られていないと考えられる場合、既往の評価式の適用が困難と考えられる場合などには、適切な水理模型実験又は三次元数値解析を行うことがある。水理模型実験では、模型の境界において予め数値計算により算出した津波波形を造波し、津波波力の評価では衝撃性、継続時間及び周期性に留意する。

3.3.2 防波堤等の海中構築物に作用する津波波力

海中構築物に作用する津波波力については、構造形式（直立型、傾斜型）、作用津波の条件（分裂、越流の有無）に応じて、適切な評価式を用いて算定する。

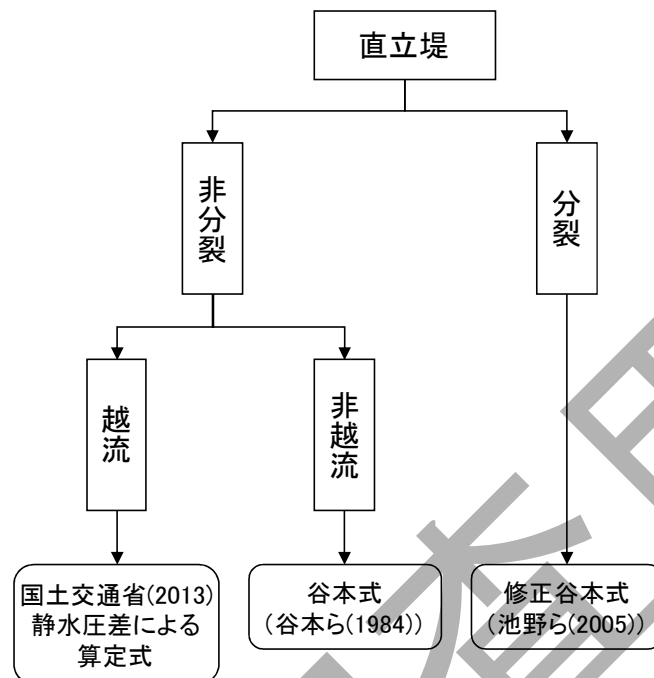
【解 説】

防波堤の耐津波設計に関しては、十分に解明されていない点が多いため、今後実施される調査研究及び技術開発の成果を反映する必要がある。

「防波堤の耐津波設計ガイドライン」(国土交通省(2015)^(3.2.2-3))では、東日本大震災の経験も踏まえて、混成堤の直立部の安定性照査に用いる津波の水平波力、揚圧力及び浮力について以下の評価式を参考として示し、これらを用いて照査することができるとしている。

なお、傾斜型の海中構築物に作用する津波波力の評価式については、実績・検証・実用例が限定的であり、定量的評価手法が確立されていない。「附属書（参考）3.2 海中構築物（傾斜型）に作用する津波波力の評価式」には研究などにおいて提案されている算定式

の例を記載する。



解図 3.3.2-1 海中構造物（直立型）に作用する津波波力の評価式の分類

(1) 津波波力評価式の選定の考え方

a. ソリトン分裂が発生する場合

波長の長い津波先端部が短周期の複数の波に分裂（ソリトン分裂）しながら段波形状になった波状段波が発生する場合は、衝撃段波波力が大きくなるため、これに対応した修正谷本式（池野ら（2005）^(3.3.2-1)）を用いる。ソリトン分裂を考慮する条件は、入射津波高さが水深の 30%以上（シミュレーション等による津波高さが水深の 60%以上）で、かつ海底勾配が 1/100 以下程度の遠浅である場合と考えられる。

b. ソリトン分裂が発生しない場合で、かつ越流が発生しない場合

水位変動が緩やかであれば静水圧近似が可能であると考えられる。ただし、ソリトン分裂が発生しない場合でも、浅水変形により発達した波が作用する場合及び分裂波が砕波した後に作用する場合には、波力を考慮する。この際、越流が発生しない条件に対しては、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（公益社団法人日本港湾協会（2018）^(3.3.2-2)）に示されている谷本式（谷本ら（1984）^(3.3.2-3)）を適用する。

c. ソリトン分裂が発生しない場合で、かつ越流発生の場合

ソリトン分裂が発生しない場合で、かつ越流が発生する場合には、対象構造物の前面と背面に作用する静水圧差を補正した評価式を適用する。

なお、若干越流している状態に静水圧差による評価式を適用する場合には、それより水位の低い越流直前の状態に谷本式を適用した方が大きな波力となる可能性があるため、両者を比較して大きい値を採用する。

(2) 津波波力の算定

a. 修正谷本式（池野ら(2005)^(3.3.2-1)）【ソリトン分裂が発生する場合】

- ・ 谷本式における基準面の無次元波圧強度を 2.2 から 3.0 に割り増す（池野ら(2005)^(3.3.2-1)）。
- ・ 入射津波の静水面上の高さ a_I は、数値シミュレーション等による津波高さの 1/2 とする。

① 背面の水位が押し波時に基準面より下がらない場合

$$\eta^* = 3.0a_I$$

$$p_1 = 3.0\rho_0ga_I$$

$$p_M = p_1$$

η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)

a_I : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)

ρ_0g : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m²)

p_M : 直立壁前面下端における揚圧力 (kN/m²)

② 背面の水位が押し波時に基準面より下がる場合

$$\eta^* = 3.0a_I$$

$$p_1 = 3.0\rho_0ga_I$$

$$p_2 = \rho_0g\eta_B$$

$$p_M = p_1$$

$$p_L = p_2$$

η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)

η_B : 直立壁背面で静水面から下がった水位 (m)

a_I : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)

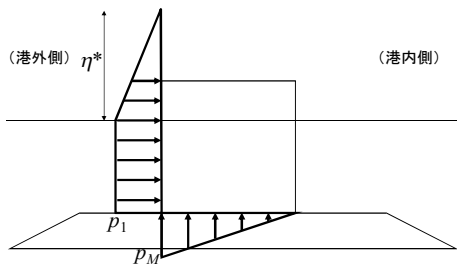
ρ_0g : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m²)

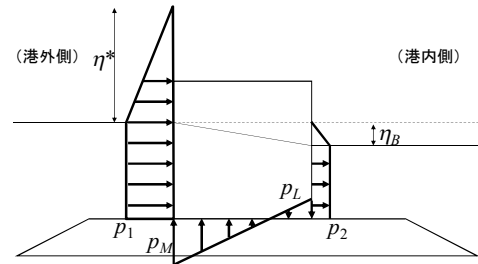
p_2 : 直立壁背面における負圧 (kN/m²)

p_M : 直立壁前面下端における揚圧力 (kN/m²)

p_L : 直立壁背面下端における揚圧力 (kN/m²)



①背面水位が下がらない場合



②背面水位が下がる場合

解図 3.3.2-2 修正谷本式（池野ら(2005)）の考え方

b. 谷本式【ソリトン分裂が発生しない場合で、かつ越流が発生しない場合】

- ・基準面の無次元波圧強度は 2.2 とする。
- ・入射津波の静水面上の高さ a_I は、数値シミュレーション等による津波高さの 1/2 とする。

① 背面の水位が押し波時に基準面より下がらない場合

$$\eta^* = 3.0a_I$$

$$p_1 = 2.2\rho_0ga_I$$

$$p_M = p_1$$

η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)

a_I : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)

ρ_0g : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m²)

p_M : 直立壁前面下端における揚圧力 (kN/m²)

② 背面の水位が押し波時に基準面より下がる場合

$$\eta^* = 3.0a_I$$

$$p_1 = 2.2\rho_0ga_I$$

$$p_2 = \rho_0g\eta_B$$

$$p_M = p_1$$

$$p_L = p_2$$

η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)

η_B : 直立壁背面で静水面から下がった水位 (m)

a_I : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)

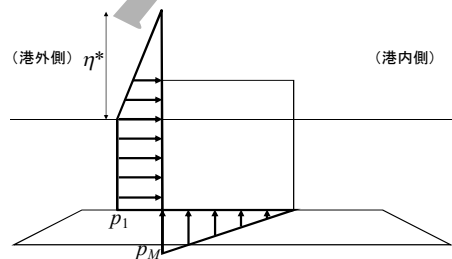
ρ_0g : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m²)

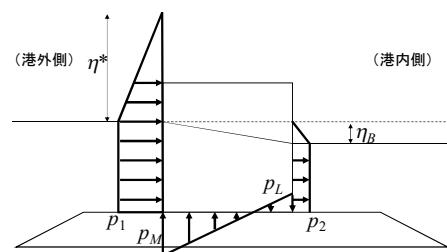
p_2 : 直立壁背面における負圧 (kN/m²)

p_M : 直立壁前面下端における揚圧力 (kN/m²)

p_L : 直立壁背面下端における揚圧力 (kN/m²)



①背面水位が下がらない場合



②背面水位が下がる場合

解図 3.3.2-3 谷本式 (谷本ら(1984)) の考え方

c. 静水圧差による式【ソリトン分裂が発生しない場合で、かつ越流発生の場合】

- ・対象構造物前面と背面の最大水位差を算出し、前背面における静水圧差を用いて構造物の安定性を評価する。
- ・水理模型実験の結果に基づき、前面の静水圧に $a_f = 1.05$ 倍、背面の静水圧に $a_r = 0.9$ 倍した静水圧を用いる。
- ・若干越流している状態に静水圧差による評価式を適用する場合には、越流直前の状態に谷本式を適用した場合と比較して、堤体の安定性に対して不利となる方を採用する。

$$p_1 = a_f \rho_0 g (\eta_f + h')$$

$$p_2 = \frac{\eta_f - h_c}{\eta_f + h'} p_1$$

$$p_3 = a_r \rho_0 g (\eta_r + h')$$

p_1 : 直立壁前面の底面における波圧強度 (kN/m²)

p_2 : 直立壁前面の天端面における波圧強度 (kN/m²)

p_3 : 直立壁背面の底面における波圧強度 (kN/m²)

$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量 (kN/m³)

h' : 直立壁の底面の水深 (m)

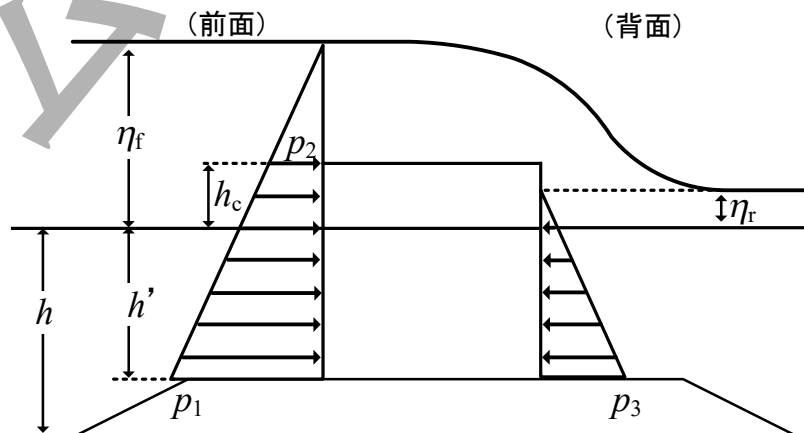
h_c : 静水面から直立壁天端までの高さ (m)

η_f : 直立壁前面の静水面からの津波高さ (m)

η_r : 直立壁背面の静水面からの津波高さ (m)

a_f : 直立壁前面の静水圧補正係数

a_r : 直立壁背面の静水圧補正係数



解図 3.3.2-4 静水圧差による算定式の考え方

3.3.3 陸上構造物・機器に作用する津波波力

陸上構造物に作用する津波波力については、津波の遡上評価結果から、適切な手法を用いて算定する。

【解 説】

陸上構造物に作用する津波波力は、3.2 節で示された平面二次元の津波遡上計算によって得られる水理量（浸水深、流速）に基づき算定することとなるが、十分に解明されていない点が多く、今後実施される調査研究又は技術開発の成果を反映することが重要であると考えられる。陸上構造物・機器に作用する津波波力の評価式については、限定的であるものの実績・実用例があり、定量的評価手法の確立に向けた検証が進められている。このうち、防潮堤のような断面二次元構造物に作用する水平波力については、朝倉ら(2000) (3.3.3-1)に代表される静水压型の評価式がよく用いられる。

$$P_{\max}(z) = \rho g (\alpha h_{i\max} - z)$$

$P_{\max}$: 最大波圧 (kN/m²)

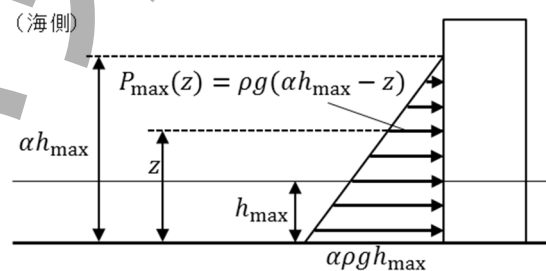
z : 地表面からの高さ (m)

ρ : 流体の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m²/s)

$h_{i\max}$: 構造物がない状態の進行波の最大浸水深 (m)

α : 水深係数



解図 3.3.3-1 静水压型の津波波力評価式の考え方

ここで、水深係数 α は水理条件や構造物周辺の地形の影響等に応じて適切な値を設定することが重要であり、その設定方法や適用条件に関する検証が進められている。「附属書（参考）3.3 陸上構造物・機器に作用する津波波力の評価式」には、提案されている水深係数の設定方法及びその他の津波波力の算定式の例を記載する。

3.4 津波漂流物

3.4.1 津波漂流物対応の基本的考え方

原子炉施設に襲来する津波漂流物に起因して、重要な建物・構築物及び機器・配管の要求性能が失われないことを確認するため、適切な手法により津波漂流物の影響を評価する。

【解 説】

津波による被害については、津波そのものによる浸水・波力の影響が主な要因となるが、船舶、車両、資機材などの津波漂流物の衝突も原子炉施設の安全性に大きな影響を及ぼすおそれがある。また、津波漂流物が建物・構築物及び機器・配管の前面にダム状に蓄積することによる建物・構築物及び機器・配管に作用する波圧の増加、津波漂流物による取水口の閉塞等のおそれもある。

船舶、車両、資機材などが漂流物化する可能性を排除するのは困難であるため、これら津波漂流物が原子炉施設に襲来する場合においても建物・構築物及び機器・配管の要求性能が失われないことを確認することとし、この確認で用いる津波漂流物の諸元の想定方法、衝突力の算定方法等について、それぞれ 3.4.2 項及び 3.4.3 項に示す。

3.4.2 津波漂流物諸元の想定方法

原子炉施設に襲来する可能性がある漂流物は地点ごとに異なるため、原子炉施設構内及びその周辺地域について踏査等による漂流物調査を行い、適切に漂流物化する可能性のある対象の想定及び漂流物諸元の設定を行う。

屋外に設置される構造物については、必要に応じて、支持条件と作用する津波外力に基づき漂流物化する可能性を検討し、漂流物化するおそれがある構造物は対象漂流物として取り扱う。

【解 説】

津波による漂流物を考える場合、一般的に原子炉施設に漂着又は原子炉施設で発生する可能性がある漂流物として、船舶、車両、資機材のほか、倒壊した植生などが考えられるが、これら漂流物の重量及び形状は各地点により異なるため、漂流物調査を実施した上でその諸元を設定することとする。

漂流物調査は、基準津波 T_s が遡上する範囲を対象として、各漂流物の特徴を踏まえた踏査、関連資料の収集、漂流条件の検討等を行い、その結果に基づき漂流物化する可能性のある対象（以下、「対象漂流物」という。）の想定を行う。「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」（沿岸技術研究センター（2014）^(3.4.2-1)）には、各対象漂流物の持つ特徴等が記

載されているので、漂流物調査にあたって参考とすることができる。

対象漂流物は時期又は季節により変動するため、漂流物調査を実施する時期、回数については適切に設定することが重要である。

対象漂流物の想定にあたっては、上述の可動物の他に、タンク類、簡易的な建物など屋外に設置されている構造物あるいは植生等が津波被害を受け、漂流物化する可能性についても考慮することとする。このため、漂流物調査においては、津波被害を受け、その結果として漂流するおそれがある対象物を抽出し、漂流物化する可能性について評価を行うこととする。

漂流物化する可能性を評価するにあたり、考慮する主な津波被害の形態としては、滑動、転倒及び浮き上がりがあり、まず、被害形態ごとに 3.2 節と 3.3 節の規定に従って評価した浸水深、流速及び波力から評価対象物に作用する外力を求め、耐力を上回る場合には評価対象物は津波被害を受けるものとする。

これらの津波被害を受ける対象物のうち、滑動、転倒及び浮き上がりによって漂流物化する可能性があるとは判定された場合には、当該対象物を対象漂流物として取り扱う。〔附属書（参考）3.4 漂流物化する可能性評価の考え方〕

なお、津波漂流物の衝突力を算定するにあたり、津波漂流物の諸元として必要なものは、質量及び形状寸法が必須であり、その他に耐力及び剛性も必要になることがある。

3.4.3 津波漂流物衝突力の算定

津波漂流物の衝突力は、津波漂流物の諸元及び津波の遡上評価結果から、適切な算定式により評価する。

【解 説】

漂流物の衝突については、十分に解明されていない点が多く、今後実施される調査研究又は技術開発の成果を反映する必要がある。漂流物の衝突力の評価式については、実績・検証・実用例が限定的であるものの複数提案されており、定量的評価手法の体系化に向けた検討がなされている。「附属書（参考）3.5 漂流物の衝突力評価式例」には提案されている算定式の例を記載する。これらはある前提条件における算定式であり、漂流物の種類及び漂流・衝突の状態など条件を吟味して用いることが重要である。

なお、近年では、津波遡上と漂流物の浮遊・衝突挙動を同時に解析する手法の研究が進められ、実験結果との対比^(3.4.3-1)や数値シミュレーションを用いた検討が可能となっており、その適用性を確認した上で用いることができる。

3.5 砂移動

3.5.1 津波による砂移動

原子炉施設の取水機能等の要求機能を維持できることを確認するため、適切な数値解析モデル等を用いて、津波による砂移動（土砂の侵食・堆積量等）の影響を評価する。

【解 説】

津波による砂移動については、十分に解明されていない点が多く、今後実施される調査研究又は技術開発の成果を反映する必要がある。海底の砂移動の評価法には幾つか事例があるが、陸上遡上域の砂移動の評価法への適用には改良が必要で検討事例は非常に少ない。

数値解析的な手法としては、3.2 節で評価した津波を対象として原子炉施設周辺と原子炉施設敷地内における津波の水位、流速の時間変動、及び海底面を構成する土砂の粒径分布等の情報に基づき、海底面あるいは敷地地面からの土砂移動量（掃流砂量と浮遊砂量）、掃流砂よりも浮遊砂が顕著な場合、浮遊砂輸送量の移流・拡散・沈降の評価を行い、原子炉施設周辺と原子炉施設敷地内における土砂の侵食量と堆積量等を求める手法が提案されている。〔附属書（参考）3.6 砂移動の解析手法〕

なお、水理模型実験を用いて砂移動を評価することができる。この場合、模型縮尺は、評価対象とする現地サイトの砂粒径（砂の沈降速度）と津波水位、流速との間の相似則に留意する。

3.5.2 津波による洗掘

津波による洗掘に起因して、重要な建屋・構造物の要求性能が失われないことを確認するため、適切な手法により洗掘の影響を評価する。

【解 説】

津波による洗掘については、3.5.1 項で示した砂移動解析により一定の評価は可能であるが、局所的な洗掘など十分に解明されていない点が多く、今後実施される調査研究又は技術開発の成果を反映することが重要である。この研究事例は非常に少なく、評価方法としては山本ら(2011)^(3.5.2-1)の例がある。

津波による洗掘被害の事例としては、防波堤、防潮堤等の滑動、転倒(周辺地盤の洗掘、越流した津波による背後地盤の洗掘等による)、タンク等陸上構造物の移動、流出、盛土構造の侵食、崩壊、戻り流れによる護岸のはらみだし、崩壊等が挙げられる。東日本大震災の被害調査としては、危険物保安技術協会(2011.9)^(3.5.2-2)、同(2012.3)^(3.5.2-3)、同(2012.5)^(3.5.2-4)、国土交通省(2012)^(3.5.2-5)、斉藤ら(2012)^(3.5.2-6)がある。このような事例を参考として、基準津波 T_s による洗掘が起因となり原子炉施設の安全性に影響する事象を想定し、その影響について評価することができる。

附属書（規定）3.1 近地津波伝播を対象とした基礎方程式と計算スキーム

1. 非線形長波理論（後藤・小川(1982)^(3.2.2-2)

(1) 基礎方程式

① 連続式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

② 運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - K_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) + \gamma_b^2 \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - K_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) + \gamma_b^2 \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} = 0$$

ここに、 t ：時間、 x, y ：平面座標、 η ：静水面から鉛直上方にとった水位変動量、

M ： x 方向の線流量、 N ： y 方向の線流量、 h ：静水深、

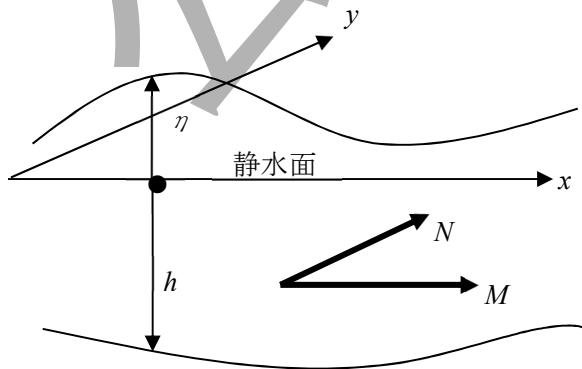
D ：全水深（ $D = h + \eta$ ）、 g ：重力加速度、 K_h ：水平渦動粘性係数、

γ_b^2 ：摩擦係数（ $= gn^2/D^{1/3}$ 、 n ：マンニングの粗度係数）

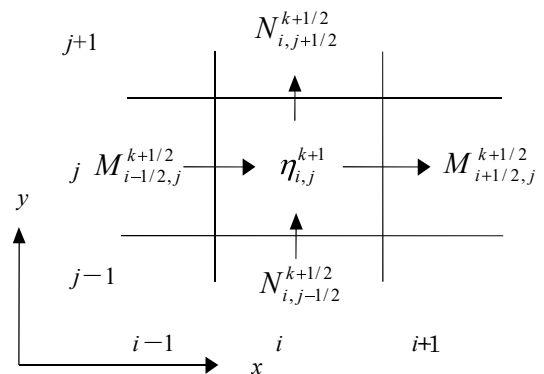
(2) 計算スキーム

計算スキームの概要を以下に示す。

- ・時間積分スキームは主にリープフロッグ法による。
- ・変数の配置はスタッガードシステムによる。
- ・保存型移流項に一次風上差分法を用いる。
- ・摩擦項は不安定にならないように、陰解法を用いて数値解析する。



附図 3.1-1 変数の配置



附図 3.1-2 スタッガードシステムの変数配置

2. 分散波理論

(1) 線形分散波理論

各水理諸量が,

- ・波高水深比 $\varepsilon = \eta/h \ll 1$
- ・相対水深 $\sigma = h/L \ll 1$
- ・アーセル数 $U_r = \varepsilon/\sigma^2 \ll 1$

となる条件の場合は, 以下に示す線形 Boussinesq の式が用いられる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{3} Q_1 \right) - \frac{\partial h}{\partial x} \left(\frac{h^2}{2} Q_1 \right)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{h^3}{3} Q_1 \right) - \frac{\partial h}{\partial y} \left(\frac{h^2}{2} Q_1 \right)$$

ここに,

$$Q_1 = \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t \partial x} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial t \partial y}$$

L : 波長

$\bar{u}, \bar{v}$: 乱れの時間スケールに比べて十分に長い時間に関しての x, y 方向の流速

(2) 非線形分散波理論

各水理諸量が,

- ・波高水深比 $\varepsilon = \eta/h \ll 1$
- ・相対水深 $\sigma = h/L \ll 1$
- ・アーセル数 $U_r = \varepsilon/\sigma^2 \sim 1$

となる条件の場合は, 以下に示す Peregrine の式が用いられる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + g(h + \eta) \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{3} Q_1 + \frac{h^2}{2} Q_2 \right) - \frac{\partial h}{\partial x} \left(\frac{h^2}{2} Q_1 + h Q_2 \right)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + g(h + \eta) \frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{h^3}{3} Q_1 + \frac{h^2}{2} Q_2 \right) - \frac{\partial h}{\partial y} \left(\frac{h^2}{2} Q_1 + h Q_2 \right)$$

ここに,

$$Q_1 = \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t \partial x} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial t \partial y}$$

$$Q_2 = \frac{\partial}{\partial t} \left(\bar{u} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left(\bar{v} \frac{\partial h}{\partial y} \right)$$

更に,

- 波高水深比 $\varepsilon = \eta / h \sim 1$
- 相対水深 $\sigma = h / L \ll 1$
- アーセル数 $U_r = \varepsilon / \sigma^2 \gg 1$

となる場合は, 以下に示す後藤の式 (後藤(1984)^(附規 3.1-1)) が提案されている。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + g(h + \eta) \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{(h + \eta)^3}{3} H_1 + \frac{(h + \eta)^2}{2} H_2 \right\} - \frac{\partial h}{\partial x} \left\{ \frac{(h + \eta)^2}{2} H_1 + (h + \eta) H_2 \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + g(h + \eta) \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ &= \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{(h + \eta)^3}{3} H_1 + \frac{(h + \eta)^2}{2} H_2 \right\} - \frac{\partial h}{\partial y} \left\{ \frac{(h + \eta)^2}{2} H_1 + (h + \eta) H_2 \right\} \end{aligned}$$

ここに,

$$H_1 = \left(\frac{\partial}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial}{\partial y} \right) \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) - \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right)^2$$

$$H_2 = \left(\frac{\partial}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial}{\partial y} \right) \left(\bar{u} \frac{\partial h}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial h}{\partial y} \right)$$

附属書（規定）3.2 取放水設備を対象とした基礎方程式

1. 管水路の連続式及び運動方程式

(1) 連続式

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

(2) 運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + g A \frac{\partial H}{\partial x} + g A \left(\frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v| v}{2g} \right) = 0$$

2. 開水路の連続式及び運動方程式

(1) 連続式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

(2) 運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g A \frac{\partial H}{\partial x} + g A \left(\frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v| v}{2g} \right) = 0$$

3. 水槽の水位計算式

$$A_p \frac{dH_p}{dt} = Q_s$$

ここに、 t ：時間， Q ：流量， v ：管路の流速， x ：管底に沿った座標，

A ：流水断面積， H ：位置水頭 + 圧力水頭（開水路では位置水頭），

g ：重力加速度， n ：マンニングの粗度係数，

R ：径深， Δx ：管路の流れ方向の長さ， f ：局所損失係数，

A_p ：水槽の平面積， H_p ：水槽水位， Q_s ：水槽へ流入する流量の総和

附属書（参考）3.1 三次元流体解析の適用

非線形長波理論（浅水理論）による遡上解析（以下、「平面二次元解析」という。）を補完する目的で、三次元流体解析を適用することができる。特に急激な地形変化などにより三次元的な流動が生じる場合、又は波圧をより精密に評価する場合には、三次元流体解析が有用な手段として挙げられる。ただし、平面二次元解析と比べて計算負荷が大きいので、解析領域をサイト近傍あるいは敷地内に限定した上で、平面二次元解析と連結する等のモデル化が必要になる。また波圧等の局所評価を目的として、断面二次元モデルを用いて三次元流体解析を行うこともできる。

平面二次元解析モデルの格子点で計算されるのは水位と流量ベクトルであり、圧力は直接的には計算されない。平面二次元解析と三次元流体解析のモデルを連結して解析を行うことにより、遡上した津波の複雑な挙動を再現し、より適切に波圧を計算することができる。ただし、検証された計算機プログラムを用いるとともに、解析モデルについて適切な精度管理と妥当性確認を行うことが必要となる。

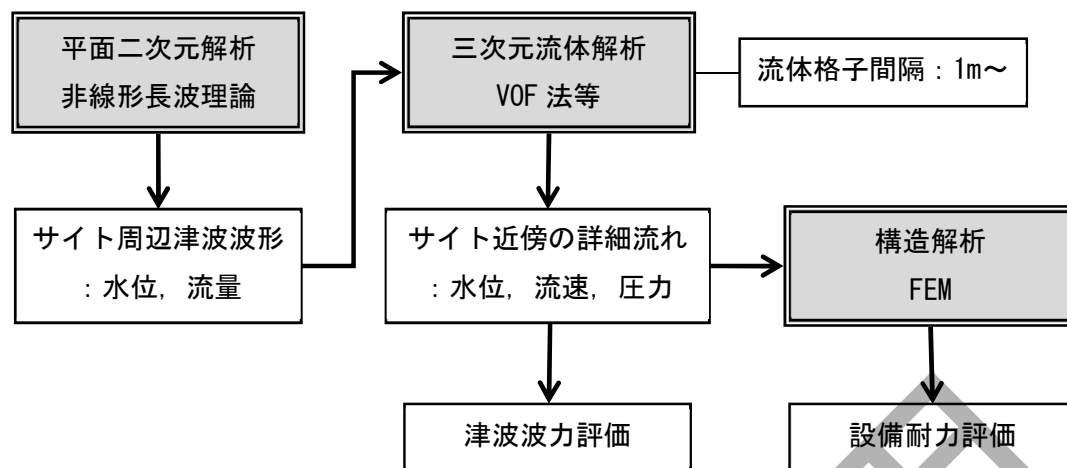
1. 平面二次元解析との連結

三次元流体解析の計算負荷は大きいため、現状では解析領域はサイトあるいは建屋周辺に限定される。このため平面二次元解析と連結して計算を行う。平面二次元解析との連結方法については下記の方法がある。

- ・平面二次元解析と三次元流体解析と双方向の連結解析を行う。
- ・三次元流体解析モデルの初期条件及び境界条件に平面二次元解析の計算結果を与える。

いずれの方法についても、境界部からの反射波等が主たる評価部に影響を与えないように、二次元的な流動が主体である部位で接続する、十分な大きさの解析領域を設定する等を考慮する。また、同じく計算負荷の制限から、三次元流体解析を行う計算時間についても、平面二次元解析のように津波現象の全過程を継続して計算することは困難である。そのために解析の目的に応じて、適切な時刻を選定して実施可能な継続時間の計算を行うことになる。例えば対象構造物への進行波の到達時の波圧を評価することを目的にして、その前後の数分間の計算を実施する。

平面二次元解析と連結して三次元流体解析が行えれば、構造物周辺の水位・流速とともに波圧が直接求められる。附参図 3.1-1 は三次元流体解析による設備評価の流れを示したものである。三次元解析では複雑な構造物形状に対しても、その格子分解能に応じた水位・波圧等の情報を与える。必要に応じて、波圧分布・履歴を FEM モデルに与えて構造解析を行うことにより、設備等の耐力評価に適用することができる。



附参図 3.1-1 三次元流体解析による耐津波性能評価の流れ

2. 計算機プログラム

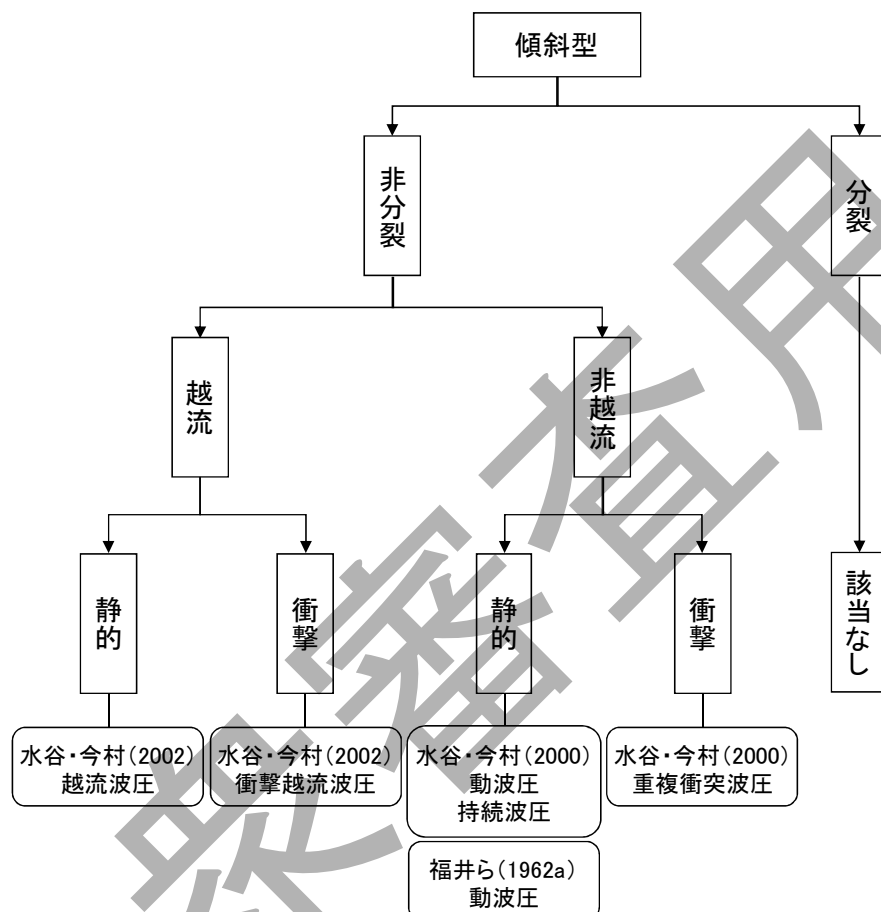
水面を持った三次元的な流況及び波圧評価について検証された計算機プログラムを使用する。この目的の計算機プログラムに用いられる代表的な計算手法は、VOF 法(Volume Of Fluid Method)による非圧縮性流体解析である。

3. 解析モデルの精度管理と妥当性確認

三次元流体解析の計算精度は、格子の大きさ及び解析時間ステップの影響を受けるので、予備計算、格子収束性試験等によって適切な計算精度が得られることを確認する。更にモデル化の妥当性を確認するために、本計算と同等の解析モデルを用いた予備計算の結果を、よく計画された水理実験又は実証済みの解析結果と比較することが望ましい。

附属書（参考）3.2 海中構造物（傾斜型）に作用する津波波力の評価式

傾斜型の海中構造物の傾斜面に作用する波圧に関しては、附参図 3.2-1 に示す各式が提案されている。



附参図 3.2-1 海中構造物（傾斜型）に作用する津波波力の評価式の分類

1. 津波波力評価式の選定の考え方

(1) 動波圧

入射津波が構造物に衝突する瞬間に発生

(2) 持続波圧

入射津波の衝突後、連続的な到達に伴い、著しい水位上昇が生じる際に発生。

(3) 重複衝突波圧

反射津波と入射津波の衝突により瞬間的に発生する。上記(1), (2)より大きくなることもある。

(4) 越流波圧・衝撃越流波圧

傾斜型構造物を越流した津波によって発生する。天端流速又は裏面勾配角度が大きい場合には、越流波圧が増加し衝撃性が大きくなる。

2. 津波波力の算定

(1) 越流をしない場合の動波圧 (福井ら(1962a)^(附参 3.2-1), 水谷・今村(2000)^(附参 3.2-2))

$$p_d(z) = p_{dm} \left(1 - 1.4 \frac{z}{R}\right) \quad \left(\frac{z}{R} \geq 0\right) : \text{静水面上 (福井ら(1962a))}^{\text{(附参 3.2-1)}}$$

$$p_d(z) = p_{dm} \left(1 - \frac{z}{R}\right)^3 \quad \left(\frac{z}{R} \geq 0\right) : \text{静水面上 (水谷・今村(2000))}^{\text{(附参 3.2-2)}}$$

$$p_d(z) = p_{dm} \left(1 + \frac{z}{2R}\right) \quad \left(\frac{z}{R} \leq 0\right) : \text{静水面下 (水谷・今村(2000))}^{\text{(附参 3.2-2)}}$$

ここに, p_d : 動波圧分布, R : 遡上高, z : 静水面上向き正の座標
最大動波圧 p_{dm} は波速 c を用いて次式であらわされる。

$$p_{dm} = K \frac{wc^4}{g^2 H}$$

$$c = \sqrt{\frac{g(H+h)(H+2h)}{2(H+h-\eta H)}}$$

ここに, K : 動波圧係数 (= 0.12), w : 水の単位重量, H : 津波段波振幅,
 η : 抵抗係数 (福井ら(1962b))^(附参 3.2-3), h : 水深

(2) 越流をしない場合の持続波圧 (水谷・今村(2000))^(附参 3.2-2)

$$p_{sm} = 0.14 (2 + \cos \theta) p_{dm} \frac{c^2}{gH} \quad (0 < \cos \theta < 0.71)$$

$$p_{sm} = 0.38 p_{dm} \frac{c^2}{gH} \quad (0.71 < \cos \theta)$$

ここに, p_{sm} : 最大持続波圧, p_{dm} : 最大動波圧, c : 段波の波速,
 θ : 構造物の水平面からの傾斜勾配角度, H : 津波段波振幅

持続波圧分布 p_s は次式であらわされる。

$$p_s(z) = p_{sm} \left(1 - 2.5 \frac{z}{R}\right) \quad \left(\frac{z}{R} \geq 0\right) : \text{静水面上 (水谷・今村(2000))}^{\text{(附参 3.2-2)}}$$

$$p_s(z) = p_{sm} \left(1 + \frac{z}{3R}\right) \quad \left(\frac{z}{R} \leq 0\right) : \text{静水面下 (水谷・今村(2000))}^{\text{(附参 3.2-2)}}$$

ここに, R : 遡上高, z : 静水面上向き正の座標

(3) 越流をしない場合の重複衝突波圧（水谷・今村(2000)^(附参 3.2-2)

a. 構造物の傾斜勾配角度 θ が比較的急な場合

$$p_{im} = 0.5(p_{dm} + p_{sm}) \quad (h \cot \theta \leq 0.15\text{m})$$

ここに、 p_{im} ：最大重複衝突波圧、 p_{sm} ：最大持続波圧、 p_{dm} ：最大動波圧、 h ：水深

重複衝突波圧分布 p_i は次式であらわされる。

$$p_i(z) = p_{im} \left(0.9 - 3 \frac{z}{R} \right) \quad \left(\frac{z}{R} \geq 0 \right) \quad : \text{静水面上}$$

$$p_i(z) = 0.9p_{im} \quad \left(\frac{z}{R} \leq 0 \right) \quad : \text{静水面下}$$

ここに、 R ：遡上高、 z ：静水面上向き正の座標

b. 構造物の傾斜勾配角度 θ が 45 度以下で、かつ静水深が大きい場合

$$p_{im} = 0.5(p_{dm} + p_{sm}) + 2200(\text{Pa}) \quad (0.15\text{m} \leq h \cot \theta)$$

ここに、 p_{im} ：最大重複衝突波圧、 p_{sm} ：最大持続波圧、 p_{dm} ：最大動波圧、 h ：水深

重複衝突波圧分布 p_i は次式であらわされる。

$$p_i(z) = p_{im} \left(2 - 10 \frac{z}{R} \right) \quad \left(\frac{z}{R} \geq 0.1 \right) \quad : \text{静水面上}$$

$$p_i(z) = p_{im} \left(0.35 + 6.5 \frac{z}{R} \right) \quad \left(0 \leq \frac{z}{R} \leq 0.1 \right) \quad : \text{静水面直上}$$

$$p_i(z) = 0.35p_{im} \quad \left(\frac{z}{R} \leq 0 \right) \quad : \text{静水面下}$$

ここに、 R ：遡上高、 z ：静水面上向き正の座標

(4) 越流波圧・衝撃越流波圧（水谷・今村(2002)^(附参 3.2-4)

$$\frac{p_{\text{om}}}{\rho g H_{\text{d2}}} = 2\sqrt{2} \frac{V_{\text{m}} \sin \theta_2}{\sqrt{g H_{\text{d2}}}} \quad (\text{越流波圧})$$

$$\frac{p_{\text{om}}}{\rho g H_{\text{d2}}} = \left(2\sqrt{2} \frac{V_{\text{m}} \sin \theta_2}{\sqrt{g H_{\text{d2}}}} \right)^4 \quad (\text{衝撃越流波圧})$$

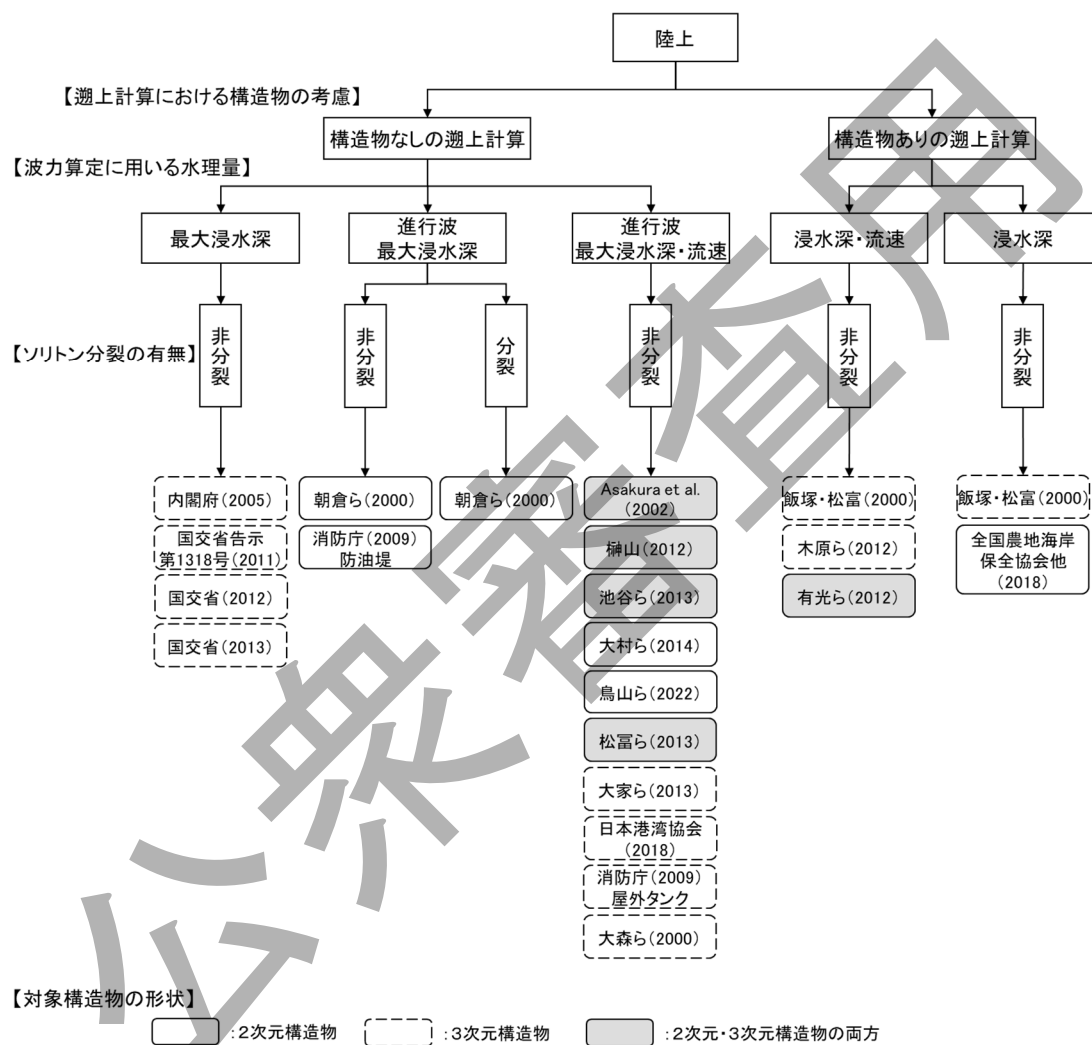
ここに、 p_{om} ：最大越流波圧， H_{d2} ：裏面高， V_{m} ：天端最大流速，
 θ_2 ：裏面勾配角度

衝撃越流波圧の発生条件は次式であらわされる。

$$2\sqrt{2} \frac{V_{\text{m}} \sin \theta_2}{\sqrt{g H_{\text{d2}}}} \geq 1$$

附属書（参考）3.3 陸上構造物・機器に作用する津波波力の評価式

陸上構造物に作用する津波波力の評価式を附参図 3.3-1 に示す。平面二次元の津波遡上計算における対象構造物の考慮の有無，波力算定に用いる水理量，ソリトン分裂の有無，対象とする波圧の種類，対象構造物の形状によって評価式が異なる。



附参図 3.3-1 陸上構造物に作用する津波波力の評価式の分類

1. 遡上計算における対象構造物の有無

敷地内の主要な構造物は、3.2.3.5 項に記載のとおり、津波遡上計算において地形データとして考慮されるため、波力算定のために構造物無しの遡上計算結果を用いる場合は、対象構造物又はすべての構造物を取り除いた条件で再度計算を行う。構造物ありの遡上計算結果を用いる評価式は、構造物の影響を受けた水理量を用いて津波波力を算定するため、構造物を考慮した津波遡上計算結果を用いることができる。

2. 波力算定に用いる水理量

津波波力の算定には、平面二次元津波遡上計算によって得られる浸水深又は浸水深及び流速の両方が用いられる。

内閣府(2005)^(附参 3.3-1)、平成 23 年国土交通省告示第 1318 号^(附参 3.3-2)、国土交通省(2012)^(附参 3.3-3)、国土交通省(2013)^(附参 3.3-4)で用いられる最大浸水深は、ハザードマップに記載されている浸水深であり、朝倉ら(2000)^(附参 3.3-5)で用いられる進行波最大浸水深は、陸側からの反射の影響を含まない進行波のみの浸水深の最大値である。

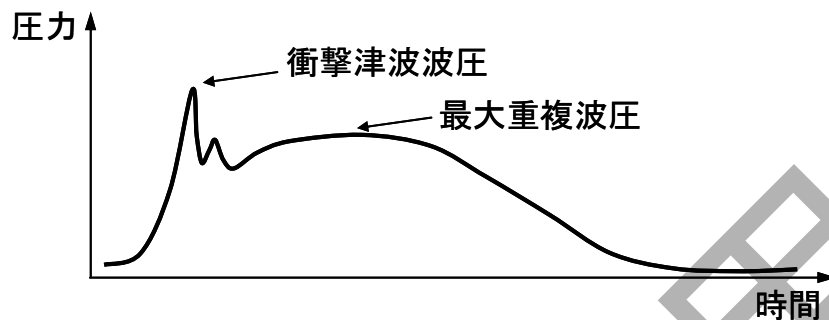
Asakura et al.(2002)^(附参 3.3-6)、榊山(2012)^(附参 3.3-7)、池谷ら(2013)^(附参 3.3-8)、大村ら(2014)^(附参 3.3-9)及び日本港湾協会(2018)^(附参 3.3-10)は、進行波の最大浸水深に加えて、最大浸水深とその発生時刻の流速から求められるフルード数を用いている。鳥山ら(2022)^(附参 3.3-11)は、通過波の最大比エネルギー発生時刻における浸水深、流速及びこれらから求められるフルード数を用いている。消防庁(2009)^(附参 3.3-12)も最大浸水深とフルード数を用いるが、フルード数の計算には発生時刻が異なる最大浸水深と最大流速が用いられている。

大森ら(2000)^(附参 3.3-13)、有光ら(2012)^(附参 3.3-14)、木原ら(2012)^(附参 3.3-15)、全国農地海岸保全協会他(2018)^(附参 3.3-16)は、浸水深と流速の時系列を用いている。飯塚・松富(2000)^(附参 3.3-17)には、構造物前面浸水深のみ用いる式と、前面浸水深と流速を用いる式が示されているが、後者で用いる流速は構造物がない状態のものである。松富ら(2013)^(附参 3.3-18)、大家ら(2013)^(附参 3.3-19)は津波衝突後の構造物前面浸水深と断面平均流速を用いている。

3.対象とする波圧

有川ら(2006)^(附参 3.3-20)は、遡上津波による波圧を附参図 3.3-2 のように定義している。大森ら(2000)^(附参 3.3-13)及び有光ら(2012)^(附参 3.3-14)は衝撃津波波圧を陽に考慮した式を提案しており、津波先端部作用時の衝撃津波波圧と、津波の平均的な高さに対応する重複波圧の両方を算定することが可能である。一方で、飯塚・松富(2000)^(附参 3.3-17)、木原ら(2012)^(附参 3.3-15)及び全国農地海岸保全協会他(2018)^(附参 3.3-16)は、重複波圧のみを対象としている。朝倉ら(2000)^(附参 3.3-5)、Asakura et al.(2002)^(附参 3.3-6)、榊山(2012)^(附参 3.3-7)、池谷ら(2013)^(附参 3.3-8)、大村ら(2014)^(附参 3.3-9)、松富ら(2013)^(附参 3.3-18)、大家ら(2013)^(附参 3.3-19)、日本港湾協会(2018)^(附参 3.3-10)及び鳥山ら(2022)^(附参 3.3-11)は、発生要因にかかわらず最大波力及び波圧を整理しており、提案式は衝撃津波波圧及び最大重複波圧の両方を包含している。津波波力の評価にあたっては、(1)、(2)で述べた遡上計算の条件及び波力算定に用いる水理

量に加えて、各式の導出過程及び評価すべき波圧の種類も考慮した上で、適切な評価式を選択する。短時間に作用するパルス的な波力について、作用時間が短いことを踏まえ、有意な影響が及ばないことを確認することが望ましい。



附参図 3.3-2 津波波圧の分類

4. ソリトン分裂の有無

朝倉ら(2000)^(附参 3.3-5)は、非分裂波とソリトン分裂波の2種類に分けて最大波圧分布を示している。他の評価式は、ソリトン分裂波を対象とした検討を行っていない。

5. 対象構造物の形状

構造物の形状は、建屋のように構造物の側方を通して背後へ津波が流入する三次元構造物と、防潮壁のように幅方向に一様で、越流を除いて背後への津波の流入がない二次元構造物に分類できる。朝倉ら(2000)^(附参 3.3-5)と榊山(2012)^(附参 3.3-7)、池谷ら(2013)^(附参 3.3-8)、大村ら(2014)^(附参 3.3-9)及び日本港湾協会(2018)^(附参 3.3-10)及び鳥山ら(2022)^(附参 3.3-11)は、側方からの津波の回り込みが生じない二次元構造物を対象としている。消防庁(2009)^(附参 3.3-12)の防油堤への作用波力評価式についても鉛直二次元計算により検討がなされている。内閣府(2005)^(附参 3.3-1)、平成23年国土交通省告示第1318号^(附参 3.3-2)、国土交通省(2012)^(附参 3.3-3)及び国土交通省(2013)^(附参 3.3-4)の対象は三次元構造物の津波避難ビルである。大森ら(2000)^(附参 3.3-13)、飯塚・松富(2000)^(附参 3.3-17)、松富ら(2013)^(附参 3.3-18)及び大家ら(2013)^(附参 3.3-19)は三次元構造物を対象としており、消防庁(2009)^(附参 3.3-12)の屋外貯蔵タンクへの作用波力評価式も三次元構造物であるタンクが対象である。木原ら(2012)^(附参 3.3-15)は、流入水深の0.5～5倍に相当する幅を有する構造物を対象としている。また、前述の榊山(2012)^(附参 3.3-7)、池谷ら(2013)^(附参 3.3-8)は三次元構造物を対象とした評価式も示している。Asakura et al.(2002)^(附参 3.3-6)及び有光ら(2012)^(附参 3.3-14)は、二次元構造物と三次元構造物の両方に対して適用されている。

6. 構造物がない状態の遡上解析結果を用いる場合

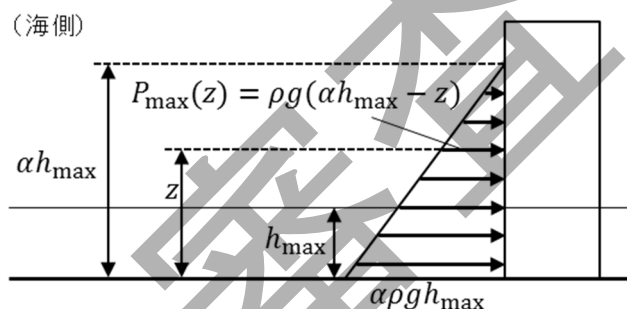
(1) 進行波の最大浸水深、又は、最大浸水深を用いる評価式

a. 静水圧型（朝倉ら）の評価式

対象構造物がない状態の水理量に基づく評価式としては、津波波圧を進行波の最大浸水深の3倍に相当する静水圧とする評価式（朝倉ら(2000)^(附参 3.3-5)）が広く一般的に用いられている。ここで、浸水深に乘じられている倍率は水深係数 α として知られており、朝倉ら(2000)^(附参 3.3-5)では直立護岸背後に存在する陸上構造物を対象に実施した二次元水理模型実験を行い、最大浸水深と最大流速を用いて計算したフルード数が1.5以上で $\alpha=3.0$ 程度、フルード数が1.0近くでは $\alpha=1.0$ （静水圧）程度であったことから、全て包絡できる値として水深係数3を提案している。

$$P_{\max}(z) = \rho g (\alpha h_{\max} - z)$$

ここに、 $P_{\max}$ は最大波圧、 z は地表面からの高さ、 ρ は流体の密度、 g は重力加速度、 $h_{\max}$ は構造物がない状態の進行波の最大浸水深である。 α は水深係数であり、朝倉ら(2000)^(附参 3.3-5)では $\alpha=3$ である。



附参図 3.3-3 静水圧型の津波波力評価式の考え方

b. 朝倉らの評価式を引用したガイドライン類の評価方法

朝倉ら(2000)^(附参 3.3-5)の評価式は、津波避難施設等の構築物の構造耐力上主要な部分に発生する力を算定する評価式として、津波避難ビルのガイドライン（内閣府(2005)^(附参 3.3-1)）、平成23年国土交通省告示第1318号^(附参 3.3-2)、津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国土交通省(2012)^(附参 3.3-3)）、港湾の津波避難施設の設計ガイドライン（国土交通省(2013)^(附参 3.3-4)）にも引用されている。ただし、津波避難ビルのガイドラインでは、進行波の浸水深ではなくハザードマップに基づく最大浸水深を用いることとしている。

平成23年国土交通省告示第1318号^(附参 3.3-2)、国土交通省(2012)^(附参 3.3-3)及び国土交通省(2013)^(附参 3.3-4)は現地データをフルード数を用いて整理した結果に基づき、海岸線からの距離及び遮蔽物の有無によって朝倉ら(2000)^(附参 3.3-5)の係数の低減を提案している。附参表 3.3-1 に提案内容を示す。なお、附参表 3.3-1 における水深係数 α の値は、東日本大震災における被害調査から得られた限られたデータをもとに、津波シミュレーションの精度、過去の実験・被害調査結果等の不確定要素や津波避難ビルの重要性等を考慮したものであることに留意する。

附参表 3.3-1 水深係数 α の設定

① 堤防，前面の建築物等による軽減効果が見込まれる場合	$\alpha = 2.0$
② ①のうち，海岸等からの距離が 500m 以上離れている場合	$\alpha = 1.5$
③ ①，②に該当しない場合	$\alpha = 3.0$

c. 越流条件における静水压型の評価式

内閣府(2005)^(附参 3.3-1)では，津波が構造物を越流する場合には，朝倉式に基づく三角形分布の波圧のうち，建築物が存在する高さまでの台形分布が作用するとしている。これに対して，消防庁(2009)^(附参 3.3-12)では，水理模型実験と CADMAS-SURF による検討に基づき，底面に作用する最大波圧 $P_{\max}$ を，浸水深と防油堤高の比率に応じて低減させる式を提案している。

$$P_{\max} = (1 + \alpha_d) \rho g \eta_{\max}$$

$$\alpha_d = \begin{cases} -0.692 (h_c / \eta_{\max})^2 + 2.352 (h_c / \eta_{\max}) & (h_c / \eta_{\max} \leq 1.7) \\ 2.0 & (h_c / \eta_{\max} > 1.7) \end{cases}$$

ここに， ρ ：流体密度， h_c ：防油堤高さ， $\eta_{\max}$ ：進行波の最大浸水深， α_d ：動圧係数

(2) 進行波の最大浸水深と流速を用いる評価式

a. 静水压型の評価式

①水理実験・数値計算に基づく評価式

Asakura et al.(2002)^(附参 3.3-6)は，断面二次元構造物と三次元構造物に対する実験のデータを対象に整理を行い，朝倉ら(2000)^(附参 3.3-5)における水深係数 α をフルード数の関数として近似することで，流速の影響を考慮している。

$$\alpha = 1.2F_r + 1.0$$

ここに，フルード数 F_r は，最大浸水深 $\eta_{\max}$ とその発生時刻の流速 u_η を用いて次式であらわされ，実験は $0.1 \leq F_r \leq 1.6$ の範囲で実施されている。

$$F_r = u_\eta / \sqrt{g\eta_{\max}}$$

榊山(2012)^(附参 3.3-7)は，断面二次元構造物を対象とした数値計算に基づき，水深係数 α をフルード数の関数として近似している。フルード数 F_r は Asakura et al.(2002)^(附参 3.3-6)と同じ定義であり， $F_r \leq 2$ の範囲で検証されている。なお，榊山(2012)^(附参 3.3-7)が示した水深係数 α は大村ら(2014)^(附参 3.3-9)が行った水理実験結果とも整合している。

$$\alpha = 1.4F_r + 1.0$$

さらに、榊山(2012)^(附参 3.3-7)は、三次元構造物（直方体、円柱）に関する水理模型実験及び数値計算の結果がエネルギー保存則から導出される水深係数 α とフルード数 F_r の関係とほぼ一致することも示している。なお、実験は $F_r \leq 2$ の範囲において実施されている。

$$\alpha = 1.0 + 0.5F_r^2$$

鳥山ら(2022)^(附参 3.3-12)は、防潮堤を対象とした水理模型実験のデータ群の回帰式を求め、標準偏差 $+2\sigma$ を考慮することで、水理模型実験のデータを全て包絡できるように水深係数 α_E とフルード数 F_{rE} の関係を提案している。

$$\alpha_E = \begin{cases} 3.0 & (F_{rE} \leq 1.24) \\ (0.7F_{rE}^2 + 1) + 0.93 & (F_{rE} > 1.24) \end{cases}$$

ここに、フルード数 F_{rE} は、最大比エネルギー時刻における浸水深 η_E 及び流速 v_E を用いて次式であらわされる。

$$F_{rE} = v_E / \sqrt{g\eta_E}$$

ここで、最大比エネルギーを用いた定義は、フルード数 F_r が1を超える領域では、入力波の流速が最大重複波圧（最大持続波圧）に与える影響が大きくなり、最大浸水深が適切な代表時刻とならない実験結果があったことから、最大重複波圧がエネルギーに関係することを考慮したものである。なお、 $F_{rE} \leq 1.24$ の範囲では、より安全側の設定となる朝倉ら(2000)^(附参 3.3-5)における $\alpha = 3.0$ を適用している。また、実験は F_{rE} が4.5程度以下の範囲で実施されている。

②理論的に求めた水深係数

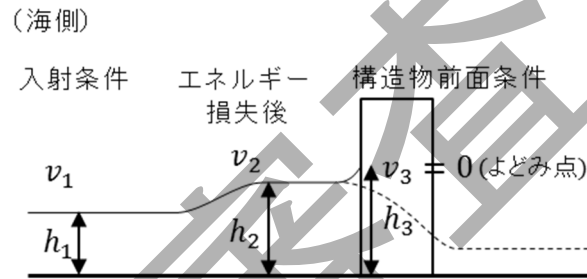
池谷ら(2013)^(附参 3.3-8)は、入射津波に対する断面二次元構造物前面におけるせき上げを考慮した水理モデルにおいて、連続式と運動量保存則に基づいて水深係数 α をフルード数 F_r の関数として理論的に求め、Asakura et al.(2002)^(附参 3.3-6)、榊山(2012)^(附参 3.3-7)の水理実験及び数値計算の結果と概ね再現できることを示した。さらに、入射津波が三次元構造物を通過する際の跳水によるエネルギー損失を考慮した水理モデルにおいて、エネルギー保存則に基づいて水深係数 α をフルード数 F_r の関数として理論的に求め、榊山(2012)^(附参 3.3-7)の水理実験及び数値計算の結果を良好に再現できることを示した。

$$\frac{h_3}{h_1} = \frac{h_2}{h_1} + \frac{1}{2} F_{r1}^2 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^2$$

$$\frac{h_2}{h_1} = \begin{cases} 1 & (F_{r1} < 1) \\ -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 + 8F_{r1}^2} & (F_{r1} \geq 1) \end{cases}$$

ここに、 h_1 は入射津波の高さ、 h_2 は構造物沖側での水位、 h_3 は構造物表面での水位であり、 h_3/h_1 が水深係数 α に相当する。 F_{r1} は入射津波のフルード数であり、入射津波の高さ h_1 及び流速 v_1 を用いて次式で表される。

$$F_{r1} = v_1 / \sqrt{gh_1}$$



附参図 3.3-4 池谷ら(2013) (附参 3.3-8)の三次元構造物に対する水理モデル

松富ら(2013) (附参 3.3-18)は、開口部を有する建物の模型を用いた水理実験を行っており、建物前面の浸水深をエネルギー損失を考慮したエネルギー保存則により入射津波の条件から実験結果を概ね近似できる方法を提案している。

$$\frac{h}{h_i} = 1 + \frac{1}{2} \left\{ 1 - \left(\frac{u_f}{u_i} \right)^2 + \zeta \right\} F_{ri}^2$$

ここに、 h は建物前面の水深、 h_i は入射津波の水深、 u_f は津波衝突後の断面平均流速（開口部を有する場合には $u_f \neq 0$ ）、 u_i は入射津波の流速、 ζ はエネルギー損失係数である。 F_{r1} は入射津波のフルード数であり、次式で表される。

$$F_{r1} = v_1 / \sqrt{gh_1}$$

ここで、 h/h_i が水深係数 α に相当する。

大家ら(2013)^(附参 3.3-19)は防潮堤背後にある三次元構造物（円柱，直方体）を対象とした水理模型実験を行い，松富ら(2013)^(附参 3.3-20)の方法において， $u_f = 0$ ， $\zeta = 0.4$ とした場合に近似することを確認している。

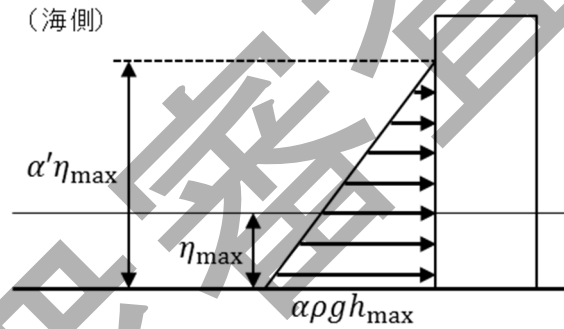
③基準類における進行波の最大浸水深と流速を用いた評価方法

日本港湾協会(2018)^(附参 3.3-10)及び全国農地海岸保全協会他(2018)^(附参 3.3-16)は，大村ら(2015)^(附参 3.3-9)を引用し，防潮堤に対して波圧作用高さを最大浸水深の α' 倍，作用する水圧を α 倍とした評価式を示している。ここで，倍率 α をフルード数 F_r の関数であり， $F_r \leq 1.5$ の範囲において適用できる。

$$\frac{P_{\max}}{\rho g \eta_{\max}} = \alpha \left(1 - \frac{z}{\alpha' \eta_{\max}} \right)$$

$$\alpha' = \max\{3, \alpha\}$$

$$\alpha = 1.0 + 1.35 F_r^2$$



附参図 3.3-5 日本港湾協会(2018)^(附参 3.3-10)の津波波力評価式の考え方

b. 抗力型の評価式

三次元構造物に作用する波力の推定では抗力型の評価式が用いる方法がある。抗力型の評価式では，水平波力は次式^(附参 3.3-21)に示されるような抗力式として表される。

$$F_H = \frac{1}{2} \rho C_D u^2 h B$$

ここに， F_H ：水平波力， C_D ：抗力係数， ρ ：流体密度，

u ：津波進行波の水平流速， h ：津波進行波による浸水深， B ：構造物の幅，

なお， C_D は構造物の形状等によって決定される係数であり，例えば ASCE(2022)^(附参 3.3-22)では以下の値が提案されている。

○ ビル等の構造物

$$C_D = \begin{cases} 1.25 & (B/h \leq 12) \\ 1.75 & (B/h = 60) \\ 2.0 & (B/h \geq 120) \end{cases}$$

ここで、 B/h が 12～60 の場合又は 60～120 の場合には、 B/h に応じて 1.25～1.75 又は 1.75～2.0 の間を線形に補間した値を抗力係数に用いる。

○ 柱、梁等の部材

$$C_D = 1.2 \sim 2.0 \text{ (部材の断面形状により決定される)}$$

大森ら(2000)^(附参 3.3-13)は三次元構造物を対象とした水理模型実験を行い、修正モリソン式に基づき波力を時系列で評価している。

$$F_H = \frac{1}{2} \rho C_D u |u| B \eta + \rho C_M \dot{u} B L \eta + \frac{1}{2} \rho C_S(\theta) u |u| B \eta + \rho g B L \eta \frac{d\eta}{dx}$$

ここに、 F_H ：水平波力、 C_D ：抗力係数(= 2.05)、 C_M ：慣性力係数(= 2.19)、
 ρ ：流体密度、 $C_S(\theta)$ ：衝撃力係数(= $3.6 \tan \theta$ 、 θ ：波面角度)、
 u ：津波進行波の水平流速、 $\dot{u}$ ：津波進行波の水平流速の時間微分、
 η ：津波進行波による浸水深、 B ：構造物の幅、 L ：構造物の長さ
 なお、右辺第 1 項は抗力、右辺第 2 項は慣性力、右辺第 3 項は衝撃力、
 右辺第 4 項は動水勾配力の項である。

c. タンクを対象とした評価式

消防庁(2009)^(附参 3.3-12)は、屋外貯蔵タンクを対象に、防油堤は存在するもののタンクが無い状態における最大浸水深・最大流速を用いて津波波力を算定する方法を提案している。

○ 水平波力 F_{tH}

$$F_{tH} = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \rho g \{h_x^{\max}(\theta)\}^2 R \cos \theta d\theta$$

$$h_x^{\max}(\theta) = \alpha \eta_{\max} \sum_{m=0}^3 p_m \cos m\theta$$

$$p_0 = 0.680, \quad p_1 = 0.340, \quad p_2 = 0.015, \quad p_3 = -0.035$$

ここに、 $h_x^{\max}(\theta)$ ：水平波力最大時のタンク周囲の津波水位、 R ：タンクの半径、
 $\eta_{\max}$ ：最大浸水深、 ρ ：流体密度、

α ：水平波力に係る浸水深係数（既往の検討では 1.8）は，タンクを置かない状態の最大浸水深と最大流速から求めたフルード数に応じて次式の値を用いる。

$$\alpha = \begin{cases} 1.8 & (F_r \geq 1.3) \\ 2.0F_r - 0.8 & (1.3 \geq F_r \geq 0.9) \\ 1.0 & (0.9 \geq F_r) \end{cases}$$

○ 鉛直波力 F_{IV}

$$F_{IV} = 2 \int_0^\pi \rho g h_V^{\max}(\theta) R^2 \cos^2 \theta d\theta$$

$$h_V^{\max}(\theta) = \beta \eta_{\max} \sum_{m=0}^3 q_m \cos m\theta$$

$$q_0 = 0.720, \quad q_1 = 0.308, \quad q_2 = 0.014, \quad q_3 = -0.042$$

ここに， $h_V^{\max}(\theta)$ ：鉛直波力最大時のタンク周囲の津波水位， $\eta_{\max}$ ：最大浸水深，
 ρ ：流体密度，
 β ：鉛直波力に係る浸水深係数は，タンクを置かない状態の最大浸水深と最大流速から求めたフルード数に応じて次式の値を用いる。

$$\beta = \begin{cases} 1.2 & (F_r \geq 1.3) \\ 0.5F_r + 0.55 & (1.3 \geq F_r \geq 0.9) \\ 1.0 & (0.9 \geq F_r) \end{cases}$$

7. 構造物を考慮した遡上解析結果を用いる場合

3.2 節の津波のシミュレーションにおいて発電所敷地内の構造物を考慮した計算を実施し，津波波力の算定に構造物がない状態の水理量に基づく評価式を用いる場合には，新たに対象構造物を除いた条件で遡上解析を行う必要がある。これに対して，構造物を考慮した遡上解析によって得られる構造物の影響を受けた水理量を用いて波力を評価する方法が提案されている。

(1) 構造物前面の浸水深を用いる評価式

飯塚・松富(2000)^(附参 3.3-17)は構造物前面浸水深のみを用いた評価式を提案している。
 飯塚・松富(2000)^(附参 3.3-17)は構造物前面浸水深と流速を考慮した評価式も示しているが，この場合には構造物の影響を受けていない流速が用いられる。

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D u^2 A = \frac{1}{2} \rho C_D u^2 h_f B = 0.61 \gamma_w C_D h_f^2 B$$

ここに、 F_D ：抗力、 ρ ：流体の密度、 C_D ：抗力係数（1.1～2.0）、 u ：陸上での流速、
 A ：構造物浸水面積、 h_f ：前面浸水深、 B ：構造物の幅、
 γ_w ：流体の単位体積重量

なお、この評価式は津波時の家屋被害を想定するために用いられ、飯塚・松富（2000）^{（附参 3.3-17）}では家屋の種類ごとに破壊と判断される F_D の基準値も併せて示されている。

（2）構造物前面の浸水深と流速を用いる評価式

有光ら（2012）^{（附参 3.3-14）}は、防潮堤と矩形構造物を対象として構造物前面の浸水深及び流速を用いて波圧鉛直分布の時系列 $p(z, t)$ を求めるための次式を提案している。

$$p(z, t) = \rho g \{h_f(t) - z\} + \rho u_f(t)^2$$

ここに、 ρ ：流体密度、 g ：重力加速度、 z ：作用位置、 t ：時間、 $h_f(t)$ ：前面浸水深、
 $u_f(t)$ ：水平方向流速

上式は構造物が存在する場合の前面浸水深 h_f に応じた静水圧分布に加えて、運動量保存則に基づき水平方向流速 u_f に応じた圧力が構造物に作用するとしたものである。

（3）構造物から津波水深の 5 倍程度沖側における浸水深さと流速を用いる評価式

木原ら（2012）^{（附参 3.3-15）}は、流入水深の 0.5～5 倍に相当する幅を有する構造物を対象とし、構造物から流入津波水深の 5 倍程度沖側の浸水深及び流速を用いる次式を提案している。

$$F = \frac{1}{2} \rho g \left(h_{in} + \frac{u_{in}^2}{2g} \right)^2 W$$

$$p = \rho g \left(h_{in} + \frac{u_{in}^2}{2g} - z \right)$$

ここに、 F ：構造物に作用する流体力、 p ：構造物に作用する圧力の鉛直分布、
 ρ ：流体密度、 W ：構造物の幅、
 $h_{in} \cdot u_{in}$ ：対象とする構造物から代表的な流入津波水深の 5 倍程度上流側へ離れた地点での浸水深・流速

附属書（参考）3.4 漂流物化する可能性評価の考え方

漂流物化する可能性に関する具体的な評価の考え方を記載する。

1. 津波被害の評価方法

漂流物化する可能性を評価するにあたり実施する津波被害の有無の評価は、津波被害の形態ごとに評価対象物に作用する外力を求め、耐力を上回る場合には評価対象物は津波被害を受けるものとする。

漂流物化する可能性を評価するにあたり実施する津波被害の有無の評価において、考慮する主な外力と耐力及び判定方法を附参表 3.4-1 に示す。

附参表 3.4-1 考慮する主な外力及び耐力並びに津波被害の有無の判定方法
(池野ら(2013)を引用, 一部加筆)

項 目		外 力	耐 力
被害 形態	滑動	津波による水平流体力	摩擦抵抗力, 底面基礎 (ボルト) せん断抵抗力等
	転倒	津波による転倒モーメント, 浮 力モーメント	自重抵抗モーメント, 底面基礎 (ボルト)引張抵抗モーメント等
	浮き上 がり	浮力	自重, 底面基礎 (ボルト) 引張抵 抗力等
津波被害の有無の 判定		外力>耐力の場合は津波被害を受けるものとし, 漂流移動に関する評価を行う。	

2. 漂流移動の評価方法

転倒などの津波被害を受けると評価された対象物であっても、重量が重く津波流体力によって漂流移動（転がり移動を含む）しないものについては、漂流物化しないものとして取り扱うことができる。

このため、評価対象物に作用する津波流体力と抵抗力により、漂流移動するか否かについての評価を行う。漂流移動の評価は津波流速と浮力（浸水深）の影響を受けるため、池野ら(2013)^(附参 3.4-1)は、予め代表的な評価対象物について津波流体力と抵抗力の釣合等による移動限界流速（滑動限界流速，転倒限界流速）を求める方法を提案している。

また、水の流れに対する捨石の安定質量を求めるイスバッシュ式^(附参 3.4-2)もあり、石材や異形ブロックへの適用も検討がなされている。

附属書（参考）3.5 漂流物の衝突力評価式例

1. 「平成 23 年度建築基準整備促進事業 40. 津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討 中間報告書 その 2」（東京大学生産技術研究所（2011）^{（附参 3.5-1）}）では、「漂流物が建築物に及ぼす影響の評価については研究途上の段階であり、断片的な知見が得られているのみである。また、建築物に被害をもたらした漂流物の詳細情報は被害調査から得られず、既往の知見の検証はできなかった。」とし、漂流物が建築物に及ぼす影響に関する既往の研究を紹介している。

(1) 松富^{（附参 3.5-2）}の評価式

津波による流木の衝突式を提案している。本式は、円柱形状の流木が縦向きに衝突する場合の衝突力評価式である。

$$\frac{F_m}{\gamma D^2 L} = 1.6 C_{MA} \left\{ \frac{v_{A0}}{(gD)^{0.5}} \right\}^{1.2} \left(\frac{\sigma_f}{\gamma L} \right)^{0.4}$$

ここに、 F_m ：衝突力、 C_{MA} ：見かけの質量係数（段波、サージでは 1.7、定常流では 1.9）、 v_{A0} ：流木の衝突速度、 D ：流木の直径、 L ：流木の長さ、 σ_f ：流木の降伏応力、 γ ：流木の単位体積重量、 g ：重力加速度

(2) 池野ら^{（附参 3.5-3）}の評価式

円柱以外にも角柱、球の形状をした木材による衝突力評価式を提案している。

$$\frac{F_H}{gM} = S \cdot C_{MA} \left(\frac{V_H}{g^{0.5} D^{0.25} L^{0.25}} \right)^{2.5}$$

ここに、 F_H ：漂流物の衝突力、 S ：係数(5.0)、 C_{MA} ：付加質量係数（円柱横向き：2.0（二次元）、1.5（三次元）、角柱横向き：2.0～4.0（二次元）、1.5（三次元）、円柱縦向き：2.0 程度、球：0.8 程度）、 V_H ：段波速度、 D ：漂流物の代表高さ、 L ：漂流物の代表長さ、 M ：漂流物の質量、 g ：重力加速度

(3) 水谷ら^{（附参 3.5-4）}の評価式

津波により漂流するコンテナの衝突力評価式を提案している。

$$F_m = 2\rho_w \eta_m B_c V_x^2 + \frac{WV_x}{g dt}$$

ここに、 F_m ：漂流衝突力、 dt ：衝突時間、 η_m ：最大遡上水位、 ρ_w ：水の密度、 B_c ：コンテナ幅、 V_x ：コンテナ漂流速度、 W ：コンテナ重量、 g ：重力加速度

(4) 有川ら^(附参 3.5-5,6)の評価式

コンクリート構造物に鋼構造物（コンテナ等）が漂流衝突する際の衝突力評価式を提案している。

$$F = \gamma_p X^{2/5} \left(\frac{5}{4} \tilde{m} \right)^{3/5} V^{6/5}$$

$$X = \frac{4\sqrt{a}}{3\pi} \frac{1}{k_1 + k_2} \quad k = \frac{1 - \nu^2}{\pi E} \quad \tilde{m} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

ここに、 F ：衝突力、 a ：衝突面半径の 1/2（コンテナ衝突面の縦横長さの平均の 1/4）、 E ：ヤング率（コンクリート版）、 ν ：ポアソン比、 m ：質量、 V ：衝突速度、 γ_p ：塑性によるエネルギー減衰効果（0.25）、 π ：円周率、 k, m の添え字(1,2)は衝突体と被衝突体を示す。

また、 $\tilde{m} = C_{MA} m$ （ C_{MA} ：サージタイプの 1.7）とすることで、流木のコンクリート版に対する衝突力を評価できるとしている。

2. 「Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structure」(ASCE (2022))^(附参 3.5-7)では、丸太や棒状の漂流物、輸送コンテナの衝突力について、以下の式を示している。

$$F_i = I_{tsu} \times C_o \times F_{ni}$$

$$F_{ni} = u_{max} \times \sqrt{k \times m_d}$$

ここに、 F_i ：衝突力、 I_{tsu} ：重要度係数（1.0～1.25）、 C_o ：配向係数(0.65)、 u_{max} ：最大流速、 k ：有効軸剛性、 m_d ：質量

3. 「Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Third Edition」(FEMA (2019))^(附参 3.5-8)では、漂流物の衝突力評価として ASCE(2016)^(附参 3.5-9)を引用しているが、衝突力評価式は ASCE(2022)と同様である。

なお、「Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition」(FEMA (2012))^(附参 3.5-10)では、漂流物による衝突力を正確に評価するのは困難としながら、以下の式を一例として示している。

$$F_i = 1.3 u_{max} \sqrt{k m_d (1 + c)}$$

ここに, F_1 : 衝突力, $u_{\max}$: 最大流速,

k : 衝突漂流物 (剛性 k_d) と被衝突構造体 (剛性 k_s) の合成有効剛性

($1/k = 1/k_s + 1/k_d$),

m_d : 漂流物の質量, c : 付加質量係数

漂流物の種類	m_d (kg)	c	k_d (N/m)
木材, 丸太 (縦方向衝突)	450	0	2.4×10^6
20ft 標準コンテナ (縦方向衝突)	2200 (空載)	0.30	85×10^6
20ft 標準コンテナ (横方向衝突)	2200 (空載)	1.00	80×10^6
20ft 重量コンテナ (縦方向衝突)	2400 (空載)	0.30	93×10^6
20ft 重量コンテナ (横方向衝突)	2400 (空載)	1.00	87×10^6
40ft 標準コンテナ (縦方向衝突)	3800 (空載)	0.20	60×10^6
40ft 標準コンテナ (横方向衝突)	3800 (空載)	1.00	40×10^6

4. 「道路橋示方書 (I 共通編)・同解説」(日本道路協会(2025) (附参 3.5-11)) では, 橋 (橋脚) に自動車, 流木あるいは船舶等が衝突するおそれのある場合には, これらの衝突の影響を適切に設定することとしている。また, 流木その他の流送物による衝突力の算定式を定めている。

$$P = 0.1WU$$

ここに, P : 衝突力, W : 流送物の重量, U : 表面流速

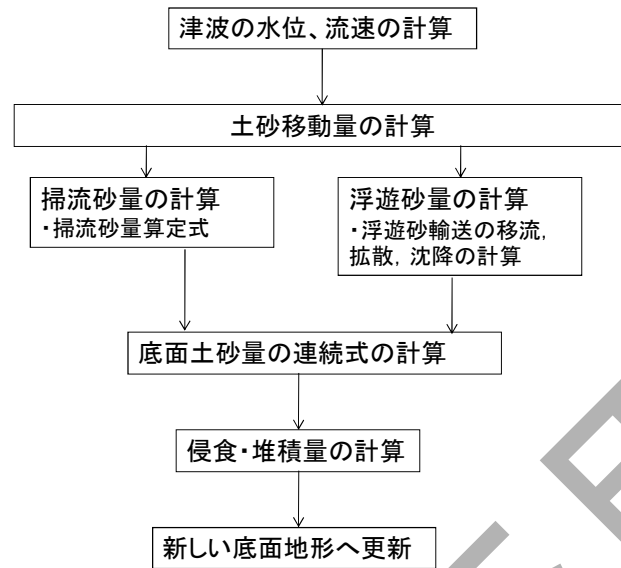
附属書（参考）3.6 砂移動の解析手法

津波による砂移動の数値解析的な手法としては、津波の水位、流速の時間変動及び海底面を構成する土砂の粒径分布等の情報に基づき、海底面あるいは敷地地面からの土砂移動量（掃流砂量と浮遊砂量）の評価を行い、掃流砂よりも浮遊砂が顕著な場合には、浮遊砂輸送量の移流・拡散・沈降の評価を行い、原子炉施設周辺と原子炉施設敷地内における土砂の侵食量と堆積量を求める手法が提案されている。

1. 津波による砂移動の評価手順

津波による砂移動の評価手順を以下に示す。

- ① 原子炉施設周辺と原子炉施設敷地内に遡上する津波の水位、流速の時間変動を 3.2 節の手法で求める。ただし、津波の水位、流速の計算手法は種々提案されており、津波の水位、流速を平面二次元計算で求める方法（例えば、藤井ら(1998)^(附参 3.6-1)、高橋ら(1999)^(附参 3.6-2)、藤井ら(2009)^(附参 3.6-3)、藤田ら(2010)^(附参 3.6-4)等）、静水圧近似の準三次元計算で求める方法（木原ら(2010)^(附参 3.6-5)）、非静水圧の三次元計算で求める方法（中村ら(2012)^(附参 3.6-6)）等がある。
- ② 海底面あるいは敷地地面からの土砂移動量を、流砂量算定式等を用いて求める。流砂には、底面付近を這うように移動する掃流砂と、底面から上方へ巻き上がり、水中を移動する浮遊砂がある。このため、浮遊砂輸送の移流・拡散・沈降を適切に計算する（例えば、藤井ら(1998)^(附参 3.6-1)、高橋ら(1999)^(附参 3.6-2)、池野ら(2009)^(附参 3.6-7)、藤井ら(2009)^(附参 3.6-3)）。浮遊砂及び掃流砂間の交換砂量は、巻上と沈降の収支により求められる。津波を対象とする場合、巻上を過大に見積る可能性があるため、浮遊砂濃度の上限を便宜的に導入する（高橋(2012)^(附参 3.6-8)）。なお、浮遊砂濃度の上限の設定に関する考察として菅原ら(2014)^(附参 3.6-9)、森下・高橋(2014)^(附参 3.6-10)、山下ら(2018)^(附参 3.6-11)、村上ら(2018)^(附参 3.6-12)、志方ら(2021)^(附参 3.6-12)がある。
- ③ 海底面あるいは敷地地面における土砂の侵食量と堆積量を計算し、海底面あるいは敷地地面の高さを更新する。
- ④ 次のタイムステップにおいて、①～③の計算を行う。



附参図 3. 6-1 津波による砂移動の計算フロー

2. 平面二次元数値計算の概要（藤井ら(1998)^(附参 3.6-1)，高橋ら(1999)^(附参 3.6-2)）

砂移動の数値計算手法の例としては，藤井ら(1998)^(附参 3.6-1)，高橋ら(1999)^(附参 3.6-2)が挙げられる。藤井ら(1998)^(附参 3.6-1)，高橋ら(1999)^(附参 3.6-2)は，津波に関する平面二次元計算等により，水平 2 方向（(x,y) 方向）の流速あるいは，流量フラックスが求められたときの土砂移動量等を求める手法を提案している。なお，論文では，x 方向（津波進行方向）のみ記載されているが，y 方向も同様である。

	藤井ら（1998）の方法	高橋ら（1999）の方法
地盤高の連続式	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \alpha \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{E-S}{\sigma(1-\lambda)} = 0$	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{E-S}{\sigma} \right) = 0$
浮遊砂濃度連続式	$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} - \frac{E-S}{D} = 0$	$\frac{\partial(C_s D)}{\partial t} + \frac{\partial(MC_s)}{\partial x} - \frac{E-S}{\sigma} = 0$
流砂量式	$Q = 80\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$	$Q = 21\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$
巻き上げ量の算定式	$E = \frac{(1-\alpha)Qw^2\sigma(1-\lambda)}{Uk_z \left[1 - \exp\left(\frac{-wD}{k_z}\right) \right]}$	$E = 0.012\tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$
沈降量の算定式	$S = wC_b$	$S = wC_s \cdot \sigma$
摩擦速度の計算式	log-wake則を鉛直方向に積分した式より算出	マニング則より算出 $u_* = \sqrt{gn^2 U U / D^{1/3}}$

Z：水深変化量(m)

t：時間(s)

x：平面座標

Q：単位幅，単位時間当たりの掃流砂量(m³/s/m)

τ_* ：シールズ数

σ ：砂の密度(g/cm³)

λ ：空隙率

s： $\sigma/\rho - 1$

d：砂の粒径(m)

g：重力加速度(m/s²)

ρ ：海水の密度(g/cm³)

U：流速(m/s)

D：全水深(m)

M：U×D (m²/s)

n：Manningの粗度係数(m^{-1/3}s)

w：土粒子の沈降速度(m/s)

C_s ：浮遊砂体積濃度

α ：局所的な外力のみに移動を支配される成分が全流砂量に占める比率

C：浮遊砂濃度(kg/m³)

C_b ：底面浮遊砂濃度(kg/m³)

k_z ：鉛直拡散係数(m²/s)

附参表 3.6-2 平面二次元数値計算の概要

平面二次元計算の適用事例は，港湾内地形変化実験への適用例（藤井ら(2009)^(附参 3.6-3)，藤田ら(2010)^(附参 3.6-4)），1960 年チリ地震津波による気仙沼湾内地形変化への適用例（藤井ら(1998)^(附参 3.6-1)，高橋ら(1999)^(附参 3.6-2)），同津波による八戸港の地形変化への適用例（藤田ら(2010)^(附参 3.6-4)）等があり，適用性が検証されている。

3. 準三次元，三次元数値計算の概要（木原ら(2010)^(附参 3.6-5)，中村ら(2012)^(附参 3.6-6)）

流動に関する支配方程式を，VOF 法等を用いて三次元計算（中村ら(2012)^(附参 3.6-6)），あるいは，鉛直方向に静水圧分布を仮定した準三次元計算（木原ら(2010)^(附参 3.6-5)）することにより，砂を動かす水位と流速場を求める。浮遊砂層の流砂の計算では，浮遊砂濃度の移流・拡散方程式を三次元計算する。

適用事例は，平面二次元計算に比べてまだ少なく，港湾内地形変化実験への適用例（木原ら(2010)^(附参 3.6-5)），遡上津波による陸上構造物周辺の洗掘実験への適用例（中村ら(2012)^(附参 3.6-6)），2004 年インド洋大津波による Kirinda 港の地形変化への適用例（木原ら(2010)^(附参 3.6-5)）等がある程度である。

参考文献

- (3.2.2-1) 首藤伸夫(1986)：津波と防災，土木学会論文集，No.369/II-5，pp.1-11.
- (3.2.2-2) 後藤智明・小川由信(1982)：Leap-frog 法を用いた津波の数値計算法，東北大学工学部土木工学科資料，52p.
- (3.2.2-3) 国土交通省(2015)：防波堤の耐津波設計ガイドライン
- (3.2.3-1) 長谷川賢一・鈴木孝夫・稲垣和男・首藤伸夫(1987)：津波の数値実験における格子間隔と時間積分間隔に関する研究，土木学会論文集，No.381/II-7，pp.111-120.
- (3.2.3-2) Cerjan et al. (1985)：A nonreflecting boundary condition for discrete acoustic and elastic wave equations, Geophysics, Vol.50, No.4 pp.705-708.
- (3.2.3-3) 日野幹雄・仲座栄三(1988)：数値波動解析における新しい無反射境界スキームの平面 2 次元問題への適用，第 35 回海岸工学講演会論文集，pp.262-266.
- (3.2.3-4) 今村文彦(2001)：石垣島における 1771 年明和大海津波と津波石移動の数値解析，津波工学研究報告，第 18 号，pp.61-72.
- (3.2.3-5) 岩崎敏夫・真野明(1979)：オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算，第 26 回海岸工学講演会論文集，pp.70-74.
- (3.2.3-6) 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫(1998)：GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法，第 45 回海岸工学講演会論文集，pp.356-360.
- (3.2.3-7) 本間仁(1940)：低溢流堰堤の流量係数，土木学会誌，第 26 巻，第 6 号，pp.635-645，第 9 号，pp.849-862.
- (3.2.3-8) 岩崎敏夫・真野明・荒井唯(1981)：綾里湊における津波の数値計算，第 28 回海岸工学講演会論文集，pp.79-83.
- (3.2.3-9) 相田勇(1977)：陸上に溢れる津波の数値実験－高知県須崎および宇佐の場合－，東京大学地震研究所彙報，Vol.52，pp.441-460.
- (3.2.3-10) 後藤智明・佐藤一央(1993)：三陸沖を対象とした津波計算システムの開発，港湾技術研究所報告，第 32 巻，第 2 号，pp.3-44.
- (3.2.3-11) 田中寛好(1985)：沿岸部における津波予測モデルの開発，電力中央研究所報告，U385017，46p.
- (3.2.3-12) 今津雄吾・今村文彦・首藤伸夫(1996)：氾濫計算を安定に行うための先端条件の検討，土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集 第 2 部，pp.242-243.
- (3.2.3-13) 井上剛・藤田尚毅・松山昌史・田中良仁(2013)：津波と高潮の同時発生確率に関する一考察，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol.69, No.2, pp.I_425-I_430.
- (3.2.3-14) 内閣府 (2012)：南海トラフの巨大地震モデル検討会 (第二次報告)

- (3.3.2-1) 池野正明・松山昌史・榊山勉・柳沢賢(2005)：ソリトン分裂と碎波を伴う津波の防波堤に作用する波力評価に関する実験的研究，海岸工学論文集，第52巻，pp.751-755.
- (3.3.2-2) 日本港湾協会(2018)：港湾の施設の技術上の基準・同解説
- (3.3.2-3) 谷本勝利・鶴谷広一・中野晋(1984)：1983年日本海中部地震津波における津波力と埋立護岸の被災原因の検討，第31回海岸工学講演会論文集，pp.257-261.
- (3.3.3-1) 朝倉良介・岩瀬浩二・池谷毅・高尾誠・金戸俊道・藤井直樹・大森政則(2000)：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，海岸工学論文集，第47巻，pp.911-915.
- (3.4.2-1) 沿岸技術研究センター(2014)：津波漂流物対策施設設計ガイドライン
- (3.4.3-1) 豊田真・南波宏介・甲斐田秀樹・栗山透(2022)：FRP船舶の衝突解析手法に関する研究，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，Vol.78, No.2, pp.301-315
- (3.5.2-1) 山本吉道・Nunthawath CHARUSROJTHANADECH・成吉兼二(2011)：津波による陸域構造物被害の合理的評価方法の提案，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.67, No.1, pp.72-91.
- (3.5.2-2) 危険物保安技術協会 (2011.9)：東日本大震災における危険物施設の被害概要 地区ごとにみる屋外タンク貯蔵関連設備の被害「仙台地区」，Safety & Tomorrow, No139, pp.10-24.
- (3.5.2-3) 危険物保安技術協会 (2012.3)：東日本大震災における危険物施設の被害概要 屋外タンク貯蔵とその関連設備の被害概要について「石巻地区」・「川崎地区」・「市原地区」，Safety & Tomorrow, No142, pp.20-26.
- (3.5.2-4) 危険物保安技術協会 (2012.5)：東日本大震災における危険物施設の被害概要 地下貯蔵タンクの被害状況について，Safety & Tomorrow, No143, pp.61-68.
- (3.5.2-5) 国土交通省 (2012)：津波防災地域づくりに係る技術検討報告書，pp.16-47.
- (3.5.2-6) 斉藤知秀・森吉之・内海博 (2012)：東日本大震災による火力発電所土木構造物の被害と対策，電力土木，No360, pp.7-11.
- (附規 3.1-1) 後藤智明(1984)：アーセル数が大きい場合の非線形分散波の方程式，土木学会論文集，N.351/II-2, pp.193-201.
- (附参 3.1-1) 沿岸技術研究センター (2010)：CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究
- (附参 3.1-2) 藤原了・唐木田泰久・國司晴生・中村均 (2012)：非線形長波理論解析と3次元流体解析との連結による津波シミュレーションの開発，計算工学講演会論文集，Vol.17.

- (附参 3.1-3) 正村憲史・藤間功司・後藤智明・飯田邦彦・重村利幸 (2001) : 二次元・三次元ハイブリッドモデルを用いた津波の数値解析, 土木学会論文集 No.670/II-54, pp.49-61.
- (附参 3.1-4) 森勇人・中村友昭・水谷法美・仲村治朗・田中良仁・内野大介・青木俊介・佐藤嘉則 (2013) : 防波壁を越流した津波の挙動および構築物に作用する津波力に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I_206-I_210.
- (附参 3.1-5) 米山望・松山昌史 (2001) : 1993 年北海道南西沖地震津波における局所遡上現象の数値計算, 電力中央研究所報告, U01002, 17p.
- (附参 3.1-6) 吉村忍・姫野武洋・藤井秀樹・青木尊之・磯部大吾郎・金山寛・越塚誠一・酒井譲・中村均・松岡信一 (2013), 力学体系に基づく津波被害のメカニズムの理解, 東日本大震災合同調査報告機械編, 第二部第 4 章, 日本機械学会
- (附参 3.2-1) 福井芳朗・白石英彦・中村充・佐々木泰雄(1962a) : 津波の研究 (II) 段波津波の堤防におよぼす影響一, 第 9 回海岸工学講演会講演集, pp.50-54.
- (附参 3.2-2) 水谷将・今村文彦(2000) : 構造物に作用する段波波力の実験, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.946-950.
- (附参 3.2-3) 福井芳朗・白石英彦・中村充・佐々木康雄 (1962b) : 津波の研究 (I) -段波津波の波速について-, 第 9 回海岸工学講演会講演集, pp.44-49.
- (附参 3.2-4) 水谷将・今村文彦(2002) : 津波段波の衝撃性および越流を考慮した設計外力算定フローの提案, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp.731-735.
- (附参 3.3-1) 内閣府(2005) : 津波避難ビル等に係るガイドライン
- (附参 3.3-2) 平成 23 年国土交通省告示第 1318 号 : 津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対して安全な構造方法等を定める件
- (附参 3.3-3) 国土交通省 (2012) : 津波避難ビル等の構造上の要件の解説
- (附参 3.3-4) 国土交通省 (2013) : 港湾の津波避難施設の設計ガイドライン
- (附参 3.3-5) 朝倉良介・岩瀬浩二・池谷毅・高尾誠・金戸俊道・藤井直樹・大森政則(2000) : 護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.911-915.
- (附参 3.3-6) Asakura, R. et al.(2002) : The tsunami wave force acting on land structures, Proc. of Int. Coastal Engineering Conf., vol.28, pp.1191-1202.
- (附参 3.3-7) 榊山勉(2012) : 陸上遡上津波の伝播と構造物に作用する津波波圧に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol68, No.2, pp.I_771-I_775.
- (附参 3.3-8) 池谷毅・秋山義信・岩前伸幸(2013) : 陸上構造物に作用する津波持続波圧に関する水理学的考察, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol69, No.2, pp.I_816-I_820.

- (附参 3.3-9) 大村智宏・八木宏・中山哲厳・森健二・河野大輔・加藤広之・門安曇・滑川順(2014)：胸壁に作用する非越流時の津波波力に関する実験的研究，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol70，No.2，pp.I_881-I_885.
- (附参 3.3-10) 公益社団法人日本港湾協会(2018)：港湾の施設の技術上の基準・同解説
- (附参 3.3-11) 鳥山拓也・石田暢生・山下啓・高松直丘(2022)：防潮堤に作用する最大持続波圧評価式の提案，NRA 技術報告書，NTEC-2022-4001.
- (附参 3.3-12) 消防庁(2009)：危険物施設に係る津波・浸水対策調査検討報告書
- (附参 3.3-13) 大森政則・藤井直樹・京谷修・高尾誠・金戸俊道・池谷毅(2000)：直立護岸を越流した津波の水位・流速および波力の数値計算，海岸工学論文集，第 47 巻，pp.376-380.
- (附参 3.3-14) 有光剛・大江一也・川崎浩司(2012)：平面 2 次元津波遡上計算結果を用いた津波波圧算定方法の提案，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol68，No.2，pp.I_781-I_785.
- (附参 3.3-15) 木原直人・高畠大輔・吉井匠・池野正明・太田一行・田中伸和(2012)：陸上構造物に対する津波流体評価（その 1）—有限幅構造物に対する非越流条件での数値的検討—，電力中央研究所報告，N12010.
- (附参 3.3-16) 全国農地海岸保全協会・公益社団法人全国漁港漁場協会・一般社団法人全国海岸協会・公益社団法人日本港湾協会(2018)：海岸保全施設の技術上の基準・同解説
- (附参 3.3-17) 飯塚秀則・松富英夫(2000)：津波氾濫流の被害想定，海岸工学論文集，第 47 巻，pp.381-385.
- (附参 3.3-18) 松富英夫・決得元基・齋藤雅大(2013)：開口部を有する鉄筋コンクリート造建物に働く津波流体力に関する基礎実験，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol69，No.2，pp.I_326-I_330.
- (附参 3.3-19) 大家隆行・有川太郎(2013)：CADMAS-SURF/3D を用いた防潮堤背後の建屋に作用する津波力の検討，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol70，No.2，pp.I_801-I_805.
- (附参 3.3-20) 有川太郎・大坪大輔・中野史丈・下迫健一郎・高橋重雄・今村文彦・松富英夫(2006)：遡上津波力に関する大規模実験，海岸工学論文集，第 53 巻，pp.796-800.
- (附参 3.3-21) Yeh, H. (2006). Maximum fluid forces in the tsunami runup zone. Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, 132(6), 496-500.
- (附参 3.3-22) ASCE(2022)：Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.
- (附参 3.4-1) 池野正明・木原直人・高畠大輔(2013)：津波漂流物の簡易移動判定と実用的な衝突力推定法，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.69,No.2，pp.I_861-I_865.

- (附参 3.4-2) 日本港湾協会(2007)：港湾の施設の技術上の基準・同解説
- (附参 3.5-1) 東京大学生産技術研究所(2011)：平成 23 年度建築基準整備促進事業「40. 津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」
- (附参 3.5-2) 松富英夫(1999)：流木衝突力の実用的な評価式と変化特性，土木学会論文集，No.621，pp.111-127.
- (附参 3.5-3) 池野正明・田中寛好(2003)：陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究，海岸工学論文集，第 50 巻，pp.721-725.
- (附参 3.5-4) 水谷法美・高木祐介・白石和睦・宮島正悟・富田孝史(2005)：エプロン上のコンテナに作用する津波波力と漂流衝突力に関する研究，海岸工学論文集，第 52 巻，pp.741-745.
- (附参 3.5-5) 有川太郎・大坪大輔・中野史丈・下迫健一郎・石川信隆(2007)：遡上津波によるコンテナ漂流力に関する大規模実験，海岸工学論文集，第 54 巻，pp.846-850.
- (附参 3.5-6) 有川太郎・鷺崎誠(2010)：津波による漂流木のコンクリート壁面破壊に関する大規模実験，海岸工学論文集 B2，Vol.66，No.1，pp.781-785.
- (附参 3.5-7) ASCE(2022)：Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures
- (附参 3.5-8) FEMA(2019)：Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Third Edition
- (附参 3.5-9) ASCE(2016)：Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures
- (附参 3.5-10) FEMA(2012)：Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition
- (附参 3.5-11) 日本道路協会(2025)：道路橋示方書（I 共通編）・同解説
- (附参 3.6-1) 藤井直樹・大森政則・高尾誠・金山進・大谷英夫(1998)：津波による海底地形変化に関する研究，海岸工学論文集，第 45 巻，pp.376-380.
- (附参 3.6-2) 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔(1999)：掃流砂層・浮遊砂層間の交換を考慮した津波移動床モデルの開発，海岸工学論文集，第 46 巻，pp.606-610.
- (附参 3.6-3) 藤井直樹・池野正明・榊山勉・松山昌史・高尾誠・向原健(2009)：津波による港湾内の流況と地形変化に関する実験およびその数値計算，海岸工学論文集，第 56 巻，pp.291-295.
- (附参 3.6-4) 藤田尚毅・稲垣和男・藤井直樹・高尾誠・金戸俊道(2010)：津波による海底地形変化評価モデルの現地適用性に関する研究，海洋開発論文集，第 26 巻，pp.213-218.
- (附参 3.6-5) 木原直人・松山昌史(2010)：津波による土砂移動問題に対する静水圧 3 次元津波解析システム C-HYDRO3D Tsunami の適用性の検討ーインド洋大

津波による Kirinda 港周辺における土砂移動解析－，電力中央研究所報告
研究報告 N09004，41p.

- (附参 3.6-6) 中村友昭・水谷法美(2012)：渦と浸透滲出流の影響を考慮した漂砂計算手法と遡上津波による陸上構造物周辺の洗掘現象への適用に関する研究，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol.68，No.1，pp.11-23.
- (附参 3.6-7) 池野正明・吉井匠・松山昌史・藤井直樹(2009)：津波実験に基づく浮遊砂巻上量の算定と巻上量式の提案，海岸工学論文集，第 56 巻，pp.506-510.
- (附参 3.6-8) 高橋智幸(2012)：津波による砂移動に関する数値シミュレーションの現状と課題，堆積学研究，第 71 巻，第 2 号，149-155.
- (附参 3.6-9) 菅原大助，成瀬元，後藤和久(2014)：堆積粒子の巻き上げに伴うエネルギー散逸を考慮した津波土砂移動の計算と検証，日本堆積学会講演要旨，O27.
- (附参 3.6-10) 森下祐・高橋智幸(2014)：2011 年東北地方太平洋沖地震津波来襲時の気仙沼湾を対象とした津波移動床モデルの再現性向上，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.70，No.2，I_491-I_495.
- (附参 3.6-11) 山下啓，菅原大助，有川太郎，鳴原良典，高橋智幸，今村文彦(2018)：強い非定常流れにおける飽和浮遊砂濃度を考慮した津波土砂移動モデルの改善，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.74，No.2，I_325-I_330.
- (附参 3.6-12) 村上嘉謙・志方建仁・殿最浩司・菅原大助・平石哲也(2018)：高浜湾を対象とした津波による砂移動評価における飽和浮遊砂濃度の設定に関する考察，自然災害科学 J. JSNDS 37-2 165-176.
- (附参 3.6-13) 志方建仁，藤井直樹，松山昌史，加藤勝秀(2021)：津波による高流速条件下の浮遊砂濃度に関する実験的研究．土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.77，No.2，I_199-I_204.

第4章 津波防護施設・浸水防止設備の 耐津波設計

4.1 基本事項

4.1.1 適用範囲

本章で定める事項は、原子炉施設のうち、津波防護施設及び浸水防止設備の耐津波設計に適用する。

【解 説】

本章で定める事項は「1.1 適用」に示す原子炉施設のうち、津波防護施設（Se, Be）、浸水防止設備（Si, Bi）及び波及的影響検討設備の耐津波設計に適用する。

本章で対象とする津波防護施設及び浸水防止設備の例を以下に示す。

(1) 津波防護施設

津波による敷地への浸水防止、重要な安全機能を有する施設の隔離を行う土木、建築構造物で、具体的には、護岸、防潮堤、防潮壁、建屋外壁、建屋内壁、床等を指す。

(2) 浸水防止設備

浸水防止範囲への浸水を防止するために設置する設備で、具体的には、水密扉、浸水防止機能を持ったハッチ、開口部等、配管・電路の貫通部の浸水防止のための構造等を指す。

4.1.2 準用する基準類

本章で準用あるいは引用する基準類及び適用年版は以下による。

- ① 建築基準法，同施行令，国土交通省告示
- ② 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N(2013) 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事 日本建築学会
- ③ 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5(2022) 鉄筋コンクリート工事 日本建築学会
- ④ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2013) 日本建築学会
- ⑤ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2024) 日本建築学会
- ⑥ 鋼構造許容応力度設計規準(2019) 日本建築学会
- ⑦ 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2014) 日本建築学会
- ⑧ 建築基礎構造設計指針(2019) 日本建築学会
- ⑨ 各種合成構造設計指針・同解説(2010) 日本建築学会
- ⑩ 建築物荷重指針・同解説(2015) 日本建築学会
- ⑪ 建築物荷重指針を活かす設計資料 1(2016) 日本建築学会
- ⑫ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格(JSME S NC1-2020) 日本機械学会
- ⑬ 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格(JSME S NE1-2022) 日本機械学会
- ⑭ コンクリート標準示方書 設計編(2022) 土木学会
- ⑮ コンクリート標準示方書 規準編(2023) 土木学会
- ⑯ コンクリート標準示方書 施工編(2023) 土木学会
- ⑰ コンクリート標準示方書 構造性能照査編(2002) 土木学会
- ⑱ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル(1992) 土木学会
- ⑲ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル・照査例(2021) 土木学会
- ⑳ 原子力発電所の津波評価技術(2016) 土木学会
- ㉑ 地盤材料の工学的分類方法(1996) 地盤工学会
- ㉒ 土の締固め(2012) 地盤工学会
- ㉓ 道路橋示方書(I 共通編)・同解説(2025) 日本道路協会
- ㉔ 道路橋示方書(II 鋼部材・鋼上部構造編)・同解説(2025) 日本道路協会
- ㉕ 道路橋示方書(III コンクリート部材・コンクリート上部構造編)・同解説(2025) 日本道路協会
- ㉖ 道路橋示方書(IV 下部構造編)・同解説(2025) 日本道路協会
- ㉗ 道路橋示方書(V 上下部接続部編)・同解説(2025) 日本道路協会
- ㉘ 水道施設耐震工法指針・解説(2022) 日本水道協会
- ㉙ 港湾の施設の技術上の基準・同解説(2018) 日本港湾協会
- ㉚ 海岸保全施設の技術上の基準・同解説(2018) 海岸保全施設技術研究会

- ③① 津波漂流物対策施設設計ガイドライン(2014) 沿岸技術研究センター
- ③② 河川構造物の耐震性能照査指針(2020) 国土交通省
- ③③ 東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針(2011) 国土交通省
- ③④ 津波避難ビル等の構造上の要件の解説(2016) 国土交通省
- ③⑤ 防波堤の耐津波設計ガイドライン(2015) 国土交通省
- ③⑥ 危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討報告書(2009) 総務省
- ③⑦ 原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2021) 日本電気協会
- ③⑧ 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-2021) 日本電気協会
- ③⑨ 基準津波関連技術指針(JEAG4642-2026) 日本電気協会
- ④⑩ 水門鉄管技術基準(水圧鉄管・鉄鋼構造物編)(2007) 水門鉄管協会
- ④⑪ 水門鉄管技術基準(水門扉編)(2025) 水門鉄管協会
- ④⑫ ダム・堰施設技術基準(案)(基準解説編・マニュアル編)(2020) ダム・堰施設技術協会
- ④⑬ 杭基礎設計便覧(2020) 日本道路協会

4.2 津波防護施設・浸水防止設備の耐津波設計の基本方針

4.2.1 津波時に確保すべき安全状態

原子炉施設は、設計で想定する津波が発生した場合に、一般公衆、従事者等に過度の放射線被ばくのリスクを与えないように、以下に示す安全状態が維持されなければならない。

- (1) 原子炉冷却材圧力バウンダリの機能が維持されること。
- (2) 原子炉を停止させ、かつ、安全停止状態が維持されること。
- (3) 原子炉停止後、炉心からの崩壊熱を除去する機能が維持されること。
- (4) 原子炉格納容器の機能が維持されること。
- (5) 使用済燃料貯蔵施設の機能が維持されること。

【解 説】

安全状態の内容については、「**実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則**」の「**第二条 定義**」における原子炉冷却材圧力バウンダリの定義、「**第二十五条 反応度制御系統及び原子炉制御系統**」，「**第二十一条 残留熱を除去することができる設備**」，「**第三十二条 原子炉格納施設**」及び「**第十六条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設**」に基づいている。

耐津波設計では、「1.2.4 耐津波設計上の重要度分類」に基づいて、津波時に必要な施設を守る津波防護施設（Se, Be）及び浸水防止設備（Si, Bi）が津波による外力に十分耐える設計を行うことにより、システムとしての機能維持を担保している。

なお、「1.2.4.3 耐津波重要度分類の適用【解説】」に記載のとおり、津波防護施設（Ae）及び浸水防止設備（Ai）は定義しないが、耐津波Aクラス施設のみを防護するための津波防護施設及び浸水防止設備を設置する場合にあつては、当該津波防護施設及び浸水防止設備は、Se 及び Si に準じた設計とすること。

4.2.2 津波により想定される事象

4.2.2.1 津波波力及び浮力により想定される事象

津波による敷地への浸水防止を目的として設置する津波防護施設は、津波の襲来に伴い波力及び浮力が直接作用することによる損傷、すべり及び転倒により、津波防護機能に影響が及ぶことを想定する。

【解 説】

津波による敷地への浸水防止を目的として設置する耐津波Sクラスの津波防護施設（Se）、耐津波Bクラスの津波防護施設（Be）は、津波の遡上波が敷地に到達・流入することを防止する機能、又は取放水路からの浸水を防止する機能が期待されている。このため、津波襲来時に津波による波力及び浮力が直接作用することを想定する。

対象となる施設・設備は、防潮堤、防潮壁等である。

4.2.2.2 浸水により想定される事象

浸水範囲の限定を目的として設置する津波防護施設・浸水防止設備は、津波の襲来に伴い静水圧及び浮力が作用することによる損傷、すべり及び転倒により、津波防護機能及び浸水防止機能に影響が及ぶことを想定する。

【解 説】

浸水範囲の限定を目的として設置する耐津波Sクラス、耐津波Bクラスの津波防護施設・浸水防止設備は、漏水等による浸水範囲の拡大を防止する機能が期待されている。このため、津波襲来時に浸水・没水による静水圧及び浮力が作用することを想定する。

対象となる施設・設備は、防潮壁、浸水想定範囲のバウンダリとなる建屋、建屋に取り付けた水密扉等である。

4.2.2.3 漂流物により想定される事象

津波による敷地への浸水防止を目的として設置する津波防護施設は、津波の襲来に伴い漂流物が衝突することによる損傷、すべり及び転倒により、津波防護機能に影響が及ぶことを想定する。

【解 説】

津波による敷地への浸水防止を目的として設置する耐津波Sクラスの津波防護施設（Se）、耐津波Bクラスの津波防護施設（Be）は、津波の遡上波が敷地に到達・流入することを防止する機能、又は取放水路からの浸水を防止する機能が期待されている。このため、津波襲来時に海水とともに漂流物が衝突する可能性があり、漂流物の衝突力が作用することを想定する。

漂流物となる可能性のある設備（構造物等）、漂流物の衝突から守るべき施設・設備の例を以下に示す。

(1) 漂流物となる可能性のある設備（構造物等）

- ① タンク（アンカー等により基礎に固定されていないもの）
- ② クレーン
- ③ 車両
- ④ 樹木
- ⑤ 資材
- ⑥ 船舶
- ⑦ 取水スクリーン

(2) 漂流物の衝突から守るべき施設・設備（構造物等）

- ① 津波防護施設（防潮堤，防潮壁等）
- ② 取水設備
- ③ 浸水防止設備（水密扉，ハッチ等）
- ④ 浸水防止設備が取り付く建物・構築物

4.2.2.4 洗掘により想定される事象

津波による敷地への浸水防止を目的として設置する津波防護施設は，津波の襲来に伴う水流による侵食及び洗掘により，津波防護機能に影響が及ぶことを想定する。

【解 説】

津波による敷地への浸水防止を目的として設置する津波防護施設は，津波の遡上波による水流により基礎部の土砂等が削られること（洗掘），堤体表面（天端及び法面）の侵食，堤体を乗り越えた越流水による背面の法尻部分の侵食等を想定する。

4.2.3 津波防護施設・浸水防止設備の機能維持要求

津波防護施設及び浸水防止設備は、設計で想定する津波が発生した場合に、以下に示す安全状態を維持しなければならない。

- (1) 耐津波 S クラスの津波防護施設 (Se) 及び浸水防止設備 (Si) は、基準津波 Ts による影響に対して、求められる津波防護機能又は浸水防止機能が維持されること。
- (2) 耐津波 B クラスの津波防護施設 (Be) 及び浸水防止設備 (Bi) は、耐津波 B クラスの施設の設計に用いる津波による影響に対して、求められる津波防護機能又は浸水防止機能が維持されること。
- (3) 間接支持構造物は、確認用津波に対して構造物に求められる支持機能が維持されること。
- (4) 波及的影響を考慮すべき建物・構築物は、確認用津波による影響によって、上位の耐津波クラスの施設へ波及的影響を及ぼさないこと。

【解 説】

耐津波設計では、「1.2.4 耐津波設計上の重要度分類」に基づき、耐津波 S クラスの津波防護施設及び浸水防止設備は基準津波 Ts に対して、耐津波 B クラスの津波防護施設及び浸水防止設備は耐津波 B クラスの施設の設計に用いる津波に対して、当該施設・設備が要求される津波防護機能又は浸水防止機能が維持されることを求めている。

間接支持構造物に関する規定は、建物・構築物の部位が耐津波 S クラス又は耐津波 B クラスの設備の間接支持構造物となる場合について規定している。耐津波 S クラスの設備の間接支持構造物は、基準津波 Ts による影響が生じた場合においても支持機能が維持されることを求めている。

波及的影響に関する規定は、下位の耐津波クラスに属する施設の破損によって上位の耐津波クラスに属する施設へ波及的影響の防止を規定したもので、建物・構築物を構成する構造物の破損・漂流物化により、耐津波 S クラス及び耐津波 B クラスの施設に波及的影響を与える可能性がある場合には、確認用津波に対して支持機能が維持されることを求めている。

4.3 津波防護施設・浸水防止設備の荷重条件

4.3.1 津波に起因する荷重

4.3.1.1 浸水深

浸水深は、津波遡上解析等に基づいて評価する。評価にあたっては、対象設備の設置状況（建屋との距離、配置等）を十分考慮の上、適切な評価方法を用いる。

【解 説】

浸水深については、対象となる設備の配置状態によって大きく変わる可能性があることから、本規程では設置状況を十分考慮の上、適切な算定式を用いて算出することを求めている。

また、浸水想定範囲における浸水深を想定することが求められる。

4.3.1.2 津波波力及び浮力

津波波力及び浮力は、津波遡上解析等に基づいて評価する。波力及び浮力の評価にあたっては、対象施設に作用する波力の特性及び施設の配置状況を十分考慮の上、適切な評価方法を用いる。

【解 説】

津波波力による荷重は、津波の波源からの津波伝播及び遡上解析によって適切に算定する。津波波力による荷重は、「3.3 津波波力」に基づく。

算定にあたっては、以下に配慮する。

- (1) 津波による荷重は、評価式により算出される最大波力を保守的に静的（一定）荷重として設計に用いることを想定している。
- (2) 津波の繰り返し作用については、津波の時刻歴波形に基づき、津波防護施設の機能へ及ぼす影響に配慮して荷重を設定することが求められる。
- (3) 過去の津波被害では、洗掘による施設の倒壊等が多数発生している。これを踏まえ、基準津波 T_s 及びこれの伝播過程の不確かさ・ばらつきを考慮して越流の可能性を検討し、必要に応じて越流時の荷重（例えば、洗掘力等）を踏まえた荷重とする。
- (4) 津波伝播及び遡上解析結果を踏まえ、実状に応じて引き波による荷重についても配慮する。
なお、引き波による荷重の検討にあたっては、引き波の流下方向、速度に加え、流下方向における地形・人工物の背後側の渦巻き流、滞留による影響及び人工物前面の洗掘による影響についても配慮する。

4.3.1.3 漂流物衝突力

漂流物の衝突力は、漂流物を適切に想定し、津波遡上解析等によって得られる浸水深、遡上流速に基づいて算定する。

【解 説】

発電所施設周辺の一般的な漂流物としては、周辺に停泊している船舶、車両、コンテナ、木材等の人工物があげられる。また、防波堤等とともに設置される消波ブロック等も津波の大きさによって漂流物となりうる。対象漂流物の設定にあたっては、現地踏査等により、潜在的に漂流物となりうる対象とその形状、数量について検討を行い、漂流物の特定を行う。

漂流物の衝突による荷重の算出については、「3.4 津波漂流物」を参照。

4.3.2 荷重の組合せ

4.3.2.1 基本的考え方

荷重の組合せの基本的な考え方は、以下のとおりとする。

(1) Sクラスの施設・設備

a. 基準津波 T_s による荷重が加わる場合

通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時により生じるそれぞれの荷重と基準津波 T_s による荷重とを組み合わせる。

b. 荷重の組合せの考え方

荷重の組合せに際しては、津波の従属事象により引き起こされる状態、及び独立事象であっても比較的長時間続くおそれのある事象により引き起こされる状態を考慮する。

(2) Bクラスの施設・設備

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時の荷重と耐津波Bクラスの施設の設計に用いる津波による荷重とを組み合わせる。

【解 説】

組合せ荷重に対する評価にあたっては、考慮すべき荷重の組合せの中から厳しい評価を与える荷重の組合せを選定することにより、それより厳しくない荷重の組合せの評価を省略することができる。

4.3.2.2 荷重の組合せ

(1) 考慮する事象

a. 自然条件

原子炉施設の立地条件によって、津波による荷重と自然現象による荷重との組合せを考慮する。

b. 地震

耐津波 S クラス施設の耐津波設計においては、基準津波 Ts の発生要因である地震を考慮し、当該の地震を経験した後に基準津波 Ts による影響を受けるものとして設計を行う。このとき、当該の地震による敷地の隆起・沈降を考慮する。

また、基準津波 Ts の襲来時に余震が発生する可能性を検討した上で、必要に応じて余震による影響とその際に想定される基準津波 Ts による影響との組合せを考慮する。

c. 周辺地盤の液状化

周辺地盤の液状化の有無を確認し、必要に応じて液状化が津波防護機能に影響を及ぼさないよう考慮する。

d. 漂流物の衝突

漂流物の衝突により津波防護機能に影響が及ばないよう考慮する。

【解 説】

(1) 自然現象

自然現象による荷重が施設の設計において無視できない場合には、自然現象による荷重と津波による荷重の組合せを考慮することを求めている。

津波との組み合わせを検討する自然現象の例を以下に示す。

① 降水

② 積雪

③ 風（台風）

④ 竜巻

⑤ 高潮

⑥ 洪水

(2) 地震

基準津波 Ts が地震により引き起こされる場合、この地震動（Ts 生起地震による地震動）を受けた後に基準津波 Ts による影響を受けるため、Ts 生起地震による地震動を受けた後の状態においても基準津波 Ts に対し求められる機能を維持できるようにする。

津波と地震動の重畳については、地震によって津波が発生した場合、津波と地震動が来襲する時間には差があるため、地震動と津波の最大荷重同士の組合せを考慮する必要は無いと考えられる。しかし、余震については津波の来襲中に発生する可能性があるため、津波と余震地震動の荷重の組合せを考慮することが必要と考えられる。余震による地震動の荷重と津波による荷重の重畳について、両者が同時に作用しないことが明らかな場合は、その荷重の組合せを考慮する必要はないと考えられる。余震による地震動の荷重との組合せを考慮する場合は、原子炉施設の立地地域における特性（余震の震源、ハザード等）を考慮し、合理的な頻度、荷重レベルが設定され得ると考えられる。

なお、防潮堤など地震動により損傷した場合に長期の復旧期間を要する施設については、津波との関連性のない地震に対しても一定の耐性を有することが必要であり、一般的には基準地震動に対する健全性の確保が求められるものと考えられる。

(3) 周辺地盤の液状化

地震により周辺地盤に液状化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を検討する。また、防潮堤に盛土等の土構造物を採用する際には、堤体自体の液状化及び基礎地盤の液状化による堤体の安定性を確認する。

(4) 漂流物の衝突

漂流物による衝撃力と津波による荷重が重畳する場合には、両荷重を適切に組み合わせた評価を行い津波防護機能に影響を与えないことを確認する。

漂流物による衝撃力については、「3.4 津波漂流物」を参照。

(2) 津波外力と組み合わせる運転状態

プラントの運転状態によって、津波防護施設又は浸水防止設備の荷重条件が異なる場合には、津波襲来時のプラントの運転状態における荷重と津波による荷重との組合せを考慮する。

【解 説】

津波による荷重との組合せを考慮する荷重は、プラントの運転状態に応じ以下とする。

- (1) プラントの運転状態Ⅰ～Ⅳのうち、津波の従属事象となる事象によって引き起こされるプラントの状態による荷重。
- (2) プラントの運転状態Ⅰ～Ⅳのうち、津波とは独立事象となる事象によって引き起こされるプラントの状態による荷重。ここで、津波と当該事象が重畳しないことが明らかな場合は、その荷重の組合せを考慮する必要はないと考えられる。
- (3) 津波の発生原因は地震によることが主であることを踏まえ、地震により引き起こされるプラント状態において津波による荷重が作用する場合には、両荷重を組み合わせる。

地震に起因する事象とその事象ごとの荷重の例を以下に示す。

- (1) 地震により循環水系の機器・配管が損傷した後に、津波が来襲した際、損傷部位から津波が

浸水することにより設備に作用する荷重。ここで、損傷部位が敷地内屋外の場合と、建屋内の場合の両者について、浸水により設備に作用する荷重を含む。

- (2) 地震により耐震下位クラスの機器・配管が損傷した際、損傷部位から系統保有水が溢水することにより設備に作用する荷重。ここで、損傷部位が敷地内屋外と、建屋内の両者の場合における溢水により設備に作用する荷重を含む。
- (3) 地震により燃料プール／ピット内保有水に生じるスロッシングにより、プール外への溢水により設備に作用する荷重。
- (4) 地震によりドレン系ポンプが停止し地下水が浸水することにより設備に作用する荷重。

4.4 個別施設の設計基準

4.4.1 津波防護施設（防潮堤等）の耐津波設計

耐津波 S クラスの津波防護施設については、その構造に応じ、波力による損傷、侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、基準津波 T_s 及び T_s 生起地震動に対し津波防護機能を維持できるように設計する。

【解 説】

主な津波防護施設の設計方針について「附属書（参考）4.1 津波防護施設の設計方針」に示す。

4.4.2 浸水防止設備（水密扉等）の耐津波設計

耐津波 S クラスの浸水防止設備については、浸水想定範囲における浸水時及び冠水後の水圧等による損傷、並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、基準津波 T_s 及び T_s 生起地震動に対して浸水防止機能を維持できるように設計する。

【解 説】

対象とする基本的な浸水防止設備を以下に示す。

- ① 水密扉
- ② 浸水防止機能を持ったハッチ、閉止板、開口部、貫通部等

建屋水密バウンダリ及び建屋内水密バウンダリを構成する浸水防止設備は、浸水想定範囲から浸水防護重点化範囲に浸水することを防止するために設置する設備である。

浸水防止設備の設計においては、設計荷重に対し十分な構造強度を保有するように設計し、漏えい量が許容浸水量以下であることを確認することが考えられる。

4.4.2.1 敷地の浸水防止設備（取放水路蓋等）

敷地への浸水を防止する取放水路蓋等については、津波外力を受けた場合の浸水防止機能に対する評価を実施する。

【解 説】

「4.5 浸水量評価」に基づき、敷地内への浸水を防止する取放水路蓋等が受ける水圧を算定し、水圧に対する浸水防止機能維持評価を実施することが重要である。

4.4.2.2 建屋水密バウンダリとなる設備（水密扉、配管貫通部等）

建屋外壁の貫通部（浸水対策部）については、津波外力を受けた場合の浸水防止機能に対する評価を実施する。

【解 説】

「4.5 浸水量評価」に基づき、建屋水密バウンダリとなる貫通部（浸水対策部）が受ける水圧を算定し、水圧に対する浸水防止機能維持評価を実施することが重要である。

また、貫通部（浸水対策部）の充填物の変位（ずれ）により、機能喪失しないことを確認する。例えば、許容変位量に対して充填物に取り付いている構造物間の相対変位量が小さいことを確認する。

4.4.2.3 建屋内水密バウンダリとなる設備（水密扉、配管貫通部等）

建屋内水密バウンダリとなる貫通部（浸水対策部）については、津波外力を受けた場合における建屋内浸水評価を実施し、建屋内浸水に対する浸水防止機能の評価を実施する。

【解 説】

建屋内水密バウンダリの外側における建屋内浸水深は「4.5 浸水量評価」に基づく。次に建屋内浸水深より建屋内水密バウンダリとなる貫通部（浸水対策部）が受ける水圧を算定し、水圧に対する浸水防止機能維持評価を実施することが重要である。

また、貫通部（浸水対策部）の充填物の変位（ずれ）により、機能喪失しないことを確認する。例えば、許容変位量に対して充填物に取り付いている構造物間の相対変位量が小さいことを確認する。

4.4.3 その他の施設の耐津波設計

4.4.3.1 取放水路の耐津波設計

敷地への浸水を防止する観点から、取放水路は津波外力に対して構造健全性を確保するように設計する。

4.4.3.2 浸水防止設備が取り付く建物・構築物の耐津波設計

浸水防止設備が取り付く建物・構築物は、浸水防止設備の支持機能が維持されるように設計する。

4.4.4 使用材料及び材料定数

津波防護施設及び浸水防止設備の設計における使用材料及び材料定数は、規格、基準等に基づき適切な材料及び材料定数を用いる。

【解 説】

津波防護施設及び浸水防止設備の設計に用いる材料定数については、材料のばらつきを考慮して安全側となる定数を設定することが重要である。

津波防護施設が盛土構造物の場合は、使用材料及び材料定数の設定に地盤工学会などの規格、基準等が参考となる。

4.4.5 許容限界

津波防護施設及び浸水防止設備の許容限界は、津波外力に対する施設の構造健全性、安定性、浸水防止性能等について、耐津波設計において適切と認められる規格、基準等に基づいて設定する。

(1) 許容限界の考え方

津波防護機能及び浸水防止機能を維持することを基本に、当該施設及び設備の変形能力（終局耐力時の変形）に対して十分な余裕を考慮し、施設及び設備に要求される機能に応じて、弾性範囲の限界値（許容応力度等）又は塑性域を踏まえた限界値（終局耐力、終局耐力に応じた変形量等）を設定する。許容限界の設定に際しては、弾性範囲を超え補修が必要となる場合、補修にある程度の期間が必要となることを踏まえて、地震及び津波後の再使用性にも留意する。

(2) 許容限界に対する設計

施設及び設備に作用する津波荷重と地震力及び地震力以外の荷重との組合せに対して生じる応力、変形等が許容限界値に対して妥当な余裕を有する設計とする。

【解 説】

津波に対する適当な規格、基準等が無い場合には、耐震設計に係る規格、基準等を参考に、照査する性能に応じた適切な許容限界を設定することが重要である。また、地震に対する評価と同様の許容限界が適用できる場合には、耐震設計に係る規格、基準等が準用される。

(1) 許容限界の考え方

- a. 許容限界値は「コンクリート標準示方書」、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」等の規格及び基準類が参考になる。
- b. 盛土構造物による防潮堤及び河川堤防については、必要天端高が確保されていることを確認することが重要である。また、津波荷重、地震荷重等に対する盛土法面の損傷防護のための表

面覆工等についても、適切と認められる規格、基準等に基づいて許容限界を設定することが重要である。

(2) 許容限界に対する設計

- a. 応力度による設計を行う場合には、構造設計により算定した部材の発生応力度が、許容限界（許容応力度）を下回ることが求められる。
- b. 耐力又は変形による設計を行う場合には、構造設計により算定した応答値が、以下に示す照査項目の許容限界を下回ることが求められる。
 - ① 部材の耐力で照査する場合
照査項目： 曲げモーメント，軸力，せん断力
 - ② 構造物の変形で照査する場合
照査項目： 層間変形角，圧縮縁コンクリートひずみ，せん断力
- c. 盛土構造による防潮堤及び河川堤防については、津波防護機能を維持できるように必要天端高及び構造安定性を確保できるような許容限界を設定することが求められる。

4.5 浸水量評価

耐津波設計においては、基本的には敷地内への浸水を防止する設計を実施するが、津波防護施設、浸水防止設備からの漏水を想定し、重要な安全機能を有する設備が安全機能を維持できることを確認するために浸水量評価を行う。

なお、津波の発生原因は地震によることが主であることを踏まえ、浸水量評価については、地震と津波の相互影響に伴う浸水量の組合せを考慮する。

【解 説】

浸水量の算出は、可能性のある浸水経路を想定し、浸水経路上に存在する漏水の可能性のある要素（扉、ハッチ、開口部、貫通部等）を抽出して行う。

建屋水密バウンダリ及び建屋内水密バウンダリを構成する浸水防止設備は、浸水防護重点化範囲における許容浸水量を設定し、その範囲に設置されている浸水防止設備の浸水防止性能を評価し許容浸水量以下となることが求められる。

なお、水密扉等の浸水防止機能を持った部分についても、漏水試験結果等に基づき、十分な余裕を考慮した漏水量（例えば、設計許容漏水量等）を評価することが重要である。

浸水防護重点化範囲に排水設備が設置されている場合であっても、当該浸水防護重点化範囲から範囲外への排水は考慮しないこととするが、溢水防止対策として排水設備を設置することが設計上考慮されており、明らかに排水が期待できることを定量的に確認できる場合には、当該浸水防護重点化範囲から範囲外への排水を考慮してもよいと考えられる。また、浸水想定範囲の上部、隣接する他の区画等に、浸水の全量あるいは一部が残留すると評価できる場合は、その残留水の当該範囲への浸水は考慮しなくてもよいと考えられる。

浸水量評価における、地震と津波の相互影響を考慮するにあたり、地震に起因する津波に伴う浸水として、建屋内の循環水系等の機器・配管系損傷による建屋内への津波の浸水が考えられる。建屋内の浸水の影響評価は、「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」（平成 25 年 6 月 19 日 制定，令和 2 年 3 月 31 日 一部改正）に従うこととしており、このガイドの中で「地震に起因する溢水量の想定において、基準津波によつて、取水路、排水路等の経路から安全機能を有する設備周辺への浸水が生じる場合、又は地震時の排水ポンプの停止によつて原子炉施設内への地下水の浸入が生じる場合には、その浸水量を加味すること。」としている。したがって、このガイドに基づく内部溢水影響評価時には、津波の浸水と地震による内部溢水を適切に組み合わせる。

附属書（参考）4.1 津波防護施設の設計方針

主な津波防護施設の設計方針を以下に示す。

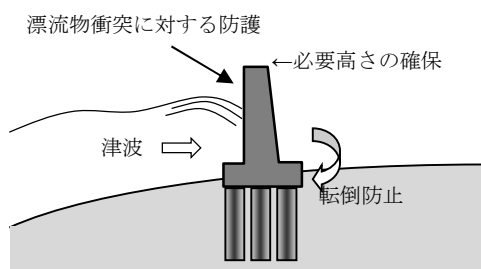
(1) 防潮堤

a. 鉄筋コンクリート等による防潮堤

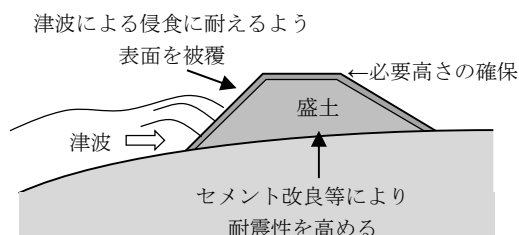
- ① Ts 生起地震動に対し、敷地へ浸入を防止する機能を維持できるように設計する。
- ② 津波が敷地へ浸入することを防止するため、津波波力等の荷重に対して、当該施設の機能を維持できるように設計する。防潮堤に求められる津波に対する必要高さは、津波のせり上がり等を考慮するとともに、広域の地盤沈降による影響、地震等に対する沈下の影響等を考慮して設定する。
- ③ 防潮堤の海側表面には、必要に応じ漂流物防護工を設置し、想定される漂流物の衝突による局所的な損傷を防止する。
- ④ Ts 生起地震動及び津波波力等の荷重に対し防潮堤全体の転倒に留意して設計するとともに、基礎地盤の液状化にも留意し、液状化による構造安定性への影響が無視できない場合には、適切な対策を講じる。

b. 盛土構造による防潮堤

- ① Ts 生起地震動に対し、敷地へ浸入を防止する機能を維持できるように設計する。
- ② 津波が敷地へ浸入することを防止するため、津波波力等の荷重に対して、当該施設の機能を維持できるように設計する。防潮堤に求められる津波に対する必要高さは、津波のせり上がり等を考慮するとともに、広域の地盤沈降による影響、地震等に対する沈下の影響等を考慮して設定する。
- ③ 防潮堤の表面（法面・上面・法尻周辺）は、コンクリート、アスファルト等により被覆したり、根固め工により補強すること等により、津波による侵食への耐性を高めることが望ましい。
- ④ 盛土は耐震性を高めるために、適切な地盤材料を用いて十分に締固めて施工する。また、セメントを配合した改良土等の強固な地盤材料を用いること等により耐震性を高めることが望ましい。基礎地盤の液状化にも留意し、液状化による構造安定性への影響が無視できない場合には、適切な対策を講じる。



(1) 鉄筋コンクリート等による防潮堤



(2) 盛土構造による防潮堤

附参図4.1-1 防潮堤の設計の概要

附参 4.1-1

(2) 防潮壁

- ① 敷地への浸水を防止するための必要高さを有するとともに、作用する波圧に対して当該施設の津波防護機能を維持するように設計する。
- ② Ts 生起地震動に対し、敷地へ浸入を防止する機能を維持できるように設計する。

(3) 建屋等の内壁・床

- ① 津波の浸水による波圧等に対して、当該施設の津波防護機能を維持できるように設計する。

第 5 章 機器・電気設備の耐津波設計

5.1 基本事項

5.1.1 適用範囲

本章に定める事項は、「1.2.5.1 津波の到達，流入に対する防護の基本方針」の「(1)耐津波Sクラス施設」における「信頼性向上のための考慮」の規定及び「(2)耐津波Bクラス」の規定において，耐津波Sクラスの機能維持設計設備（St），耐津波Bクラスの機能維持設計設備（Bt）として分類する機器・配管系の耐津波設計に適用する。

さらに，波及的影響検討設備の耐津波設計のうち，津波の影響により漂流物となることを防止するための設計に適用する。

【解 説】

(1) 「機器・配管系」の範囲

機器・配管系とは，電気計装機器等を含む原子力設備の機器及び配管を総称したものである。本規程では，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（日本機械学会）の対象範囲に含まれないポンプ，弁及び支持構造物も機器・配管系に含んでいる。

(2) 耐津波Aクラスの機能維持設計設備

「1.2.4.3 耐津波重要度分類の適用【解説】」に記載のとおり，耐津波Aクラスの機能維持設計設備（At）は定義しない。

(3) 本章の位置づけ

「1.2.5.1 津波の到達，流入に対する防護の基本方針 (1)耐津波Sクラス施設 c. 防護の多重化・多様化 ① 津波による影響からの隔離」の規定により，耐津波Sクラスの機器・配管系は，津波による影響から隔離される。その上で「② 信頼性向上のための考慮」により，前段の防護の信頼性を考慮し，必要に応じて防護の多重化，多様化を図ることとしている。

②の防護策の一つとしては，防護対象である耐津波Sクラスの機器・配管系自身を St と設定し，津波が直接作用しても機能維持できるように設計することが考えられる。また，耐津波Bクラスについても 1.2.5.1 項において，防護策の一つとして，自身を Bt として設計することが考えられる。

本章は，この際の St，Bt の設計手法を示すことを目的としており，具体的には次のような設備が考えられる。

- ・屋外設備：多重化・多様化の手段として，津波防護施設（Se）の不具合等による敷地内浸水を想定した設計を選択した場合に，津波が直接作用することを想定する St，Bt の屋外タンク，屋外配管等を対象とする。
- ・屋内設備：多重化・多様化の手段として，浸水防止設備（Si）の不具合等による建

屋内浸水を想定した設計を選択した場合に、St、Bt となる動的・電氣的機能維持要求設備（ポンプ、電気計装設備等）を対象とする。

なお、本章の規定は、「附属書（参考）1.1 超過津波対策への推奨事項」のうち、「(1) 特定の施設の耐津波性の向上」を考慮した設計にも準用できる。

5.1.2 準用する基準類

本章で準用あるいは引用する基準類は以下に指定する年版のものとする。以下に記載されていない基準類については、準用あるいは引用する部分で適用年版を指定する。

- ① JIS 規格 本規程に指定された年版
- ② 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第Ⅰ編 軽水炉規格 (JSME S NC1-2024)
日本機械学会 （以下「設計・建設規格」という。）
- ③ 発電用原子力設備規格 材料規格 (JSME S NJ1-2024) 日本機械学会
（以下「材料規格」という。）
- ④ 原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601-2021) 日本電気協会

5.2 機器・電気設備の耐津波設計の基本方針

5.2.1 津波時に確保すべき安全状態

原子炉施設は、設計で想定する津波が発生した場合に、一般公衆、従事者等に過度の放射線被ばくのリスクを与えないように、以下に示す安全状態を維持しなければならない。

- (1) 原子炉冷却材圧力バウンダリの機能が維持されること。
- (2) 原子炉を停止させ、かつ、安全停止状態が維持されること。
- (3) 原子炉停止後、炉心からの崩壊熱を除去する機能が維持されること。
- (4) 原子炉格納容器の機能が維持されること。
- (5) 使用済燃料貯蔵施設の機能が維持されること。

【解 説】

安全状態の内容については、「**実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則**」の「**第二条 定義**」における原子炉冷却材圧力バウンダリの定義、「**第二十五条 反応度制御系統及び原子炉制御系統**」，「**第二十一条 残留熱を除去することができる設備**」，「**第三十二条 原子炉格納施設**」及び「**第十六条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設**」に基づいている。

耐津波設計では、第4章に示すように「1.2.4 耐津波設計上の重要度分類」に基づいて、津波時に必要な施設を守る津波防護施設（Se, Be）及び浸水防止設備（Si, Bi）が津波による外力に十分耐える設計を行うことにより、システムとしての機能維持を担保している。

さらに、防護の多重性・多様性に関する規定に基づき、津波防護施設（Se, Be）、浸水防止設備（Si, Bi）の不具合等により浸水が生じた場合を想定し、原子力発電施設の安全状態の維持に必要となる機能維持設計設備（St, Bt）及び波及的影響検討設備に対し耐津波設計を行うことにより、システムとしての機能維持をより確実なものとしている。

5.2.2 津波により想定される事象

5.2.2.1 津波波力及び浮力により想定される事象

防護の多重化・多様化のため、津波防護施設（Se）又は浸水防止設備（Si）の不具合等により津波の波力及び浮力が直接作用すると想定する必要がある場合は、その波力及び浮力に対して機能維持できるように設計する耐津波 S クラスの機能維持設計設備（St）、並びに津波の波力及び浮力が直接作用する位置に設置する耐津波 B クラスの機能維持設計設備（Bt）は、津波の波力及び浮力により構造健全性に影響が及ぶことを想定する。

【解 説】

津波波力及び浮力により影響を受ける屋外設備とその影響例を以下に示す。

- ① ポンプのバウンダリ機能及び支持機能喪失並びにポンプの動的機能喪失
- ② タンクのバウンダリ機能及び支持機能喪失
- ③ 配管系のバウンダリ機能及び支持機能喪失
- ④ 盤、配管等に設置されている計測器（圧力計、流量計等）、端子箱等の補助設備の支持機能喪失

5.2.2.2 浸水により想定される事象

防護の多重化・多様化に関する規定に基づき、津波防護施設（Se）又は浸水防止設備（Si）の不具合等により浸水が生じると想定する必要がある場合は、その浸水に対して機能維持できるように設計する耐津波 S クラスの機能維持設計設備（St）、及び浸水する範囲内に設置する耐津波 B クラスの機能維持設計設備（Bt）は、浸水により静水圧又は浮力が作用し構造健全性に影響が及ぶことを考慮する。また、動的機器・電気計装機器の場合には、浸水により短絡又は回転機器の異常が生じ、動的・電氣的機能に影響が及ぶことを想定する。

なお、浸水により想定される事象の影響の評価にあたっては、浸水経路を保守的に想定する。

【解 説】

(1) 浸水経路

a. 敷地内への浸水経路

多重防護の観点から、基準津波 Ts のもとで津波防護施設が機能を喪失することを考慮し、津波防護施設からの浸水経路を保守的に想定して浸水想定範囲を設定する。

b. 建屋内への浸水経路

建屋外壁（止水構造を有した扉，貫通部等を含む。）により津波に対する障壁を形成する建屋水密バウンダリからの漏えい，及び建屋内における止水構造により障壁を形成する建屋内水密バウンダリからの漏えいによる浸水を想定する。

なお，建屋内の浸水影響評価は，「4.5 浸水量評価」によるものとする。

(2) 浸水により影響を受ける設備とその影響例

a. 静的機器への影響

要求される安全機能を果たすために必要なタンク，配管系，熱交換器等の静的機器が対象となる。浸水による静水圧又は浮力が作用し，タンクの内外水圧差によるバウンダリ機能及び支持機能喪失が想定される。

b. 動的機器への影響

要求される安全機能を果たすために動作が要求される機器で，ポンプ，ポンプ駆動用タービン，電動機，ファン，冷凍機，非常用ディーゼル発電機，制御用空気圧縮機，往復動式ポンプ，弁，ダンパ等が対象となる。浸水により，電動機の短絡，回転機器の機能喪失等が想定される。

c. 電気計装機器への影響

要求される安全機能を果たすために電氣的機能が要求される機器で，盤，装置，器具，電路等が対象となる。浸水により，電気計装機器の短絡が想定される。各機器については以下に示す。

なお，電気設備に関する技術基準を定める省令において，電路とは通常の使用状態で電気が通じているところ，電気機械器具とは電路を構成する機械器具と定義されているが，本規程では以下の定義とする。

盤 : 鋼材，鋼板等によって作られた構造物に，下記の装置，器具，電線，ケーブル等を取り付けて回路を構成することで，電気系，計装系の信号の処理，制御及び操作系の保護，開閉並びに電力の変換等の機能を持っているものをいう。（例：中央制御盤，現場操作盤）

装置 : 電力の変換等を目的とした電気計装機器の一部をいう。
（例：変圧器，蓄電池）

器具 : 電気計装機器において，取り扱われる信号又は電力に対し，検出，変換，演算，制御等の操作を行い，電気系，計装系の機能を作り出す要素をいう。
（例：各種検出器，発信器等）

電路類：電線，ケーブル，導体等のかたちで電流が通じている回路が鋼板その他の材料で構成された支持及び保護の役目をする構造物に収納されている場合，その構造物及び電気回路を含めていう。（例：ケーブルトレイ，電線管等）

5.2.2.3 漂流物により想定される事象

防護の多重化・多様化のため，津波防護施設（Se）又は浸水防止設備（Si）の不具合等により津波の波力及び浮力が直接作用すると想定する必要がある場合は，津波遡上範囲に設置されている構造物，資材，車両等が，津波の遡上に伴い漂流物となり，耐津波安全上重要な設備に衝突することにより，これら設備の構造健全性と機能維持に影響が及ぶことを想定する。

なお，敷地内へ浸水する場合でも浸水深が浅く，遡上流速が遅い場合は，漂流物の発生を想定する必要はない。

【解 説】

漂流物となる可能性のある設備（構造物等），漂流物の衝突から守るべき機器・配管系の例を以下に示す。

(1) 漂流物となる可能性のある設備（構造物等）

- ① タンク（アンカー等により基礎に固定されていないもの。）
- ② クレーン
- ③ 車両
- ④ 樹木
- ⑤ 資材
- ⑥ 船舶（津波防護施設により敷地内に漂流物が侵入しない場合は除く。）
- ⑦ 取水スクリーン

(2) 漂流物の衝突により影響を受ける屋外設備とその影響例

- ① ポンプ，電動機の支持機能喪失
- ② タンクのバウンダリ機能及び支持機能喪失
- ③ 配管系のバウンダリ機能及び支持機能喪失
- ④ 盤，配管等に設置されている計測器（圧力計，流量計等），端子箱等の補助設備の支持機能喪失

5.2.2.4 敷地内の洗掘により想定される事象

防護の多重化・多様化のため、津波防護施設（Se）又は浸水防止設備（Si）の不具合等により津波の波力及び浮力が直接作用すると想定する必要がある場合は、津波による遡上波が直接到達する屋外設備を対象に、基礎部周辺に洗掘が生じることにより、間接支持構造物が機能喪失し、屋外設備の構造健全性と機能維持に影響が及ぶことを想定する。ただし、耐津波安全上重要な機器・配管系が、洗掘に対して支持機能が保持できる間接支持構造物に設置される場合は、機器・配管系の構造健全性と機能維持に影響が及ぶことを想定する必要はない。

5.2.3 設備に対する機能要求

機器・配管系の耐津波設計は、「5.2.1 津波時に確保すべき安全状態」に規定する津波時に確保すべき安全状態を維持するために、以下の方針に基づいて設計しなければならない。

- (1) 耐津波 S クラスの機能維持設計設備（St）は、基準津波 Ts による外力に対してその安全機能を保持すること。
- (2) 耐津波 B クラスの機能維持設計設備（Bt）は、耐津波 B クラスの施設の設計に用いる津波により想定される事象に対して、設備が内包する放射性物質の保持機能が維持できること。
- (3) 上記(1)(2)において、耐津波 S、B クラス施設は、波及的影響検討設備によって破損が生じないこと。

【解 説】

(3)の波及的影響検討設備とは、「1.2.4.3 耐津波重要度分類の適用(1)g.」に記載しているとおり、耐津波 S、B クラス施設へ波及的影響を及ぼす可能性のあるすべての設備等という。これには、「5.2.2.3 漂流物により想定される事象【解 説】(1)」に例示した、船舶、車両、樹木等を含む。

5.3 機器・電気設備の荷重条件

5.3.1 津波に起因する荷重

5.3.1.1 浸水深

敷地内の浸水深は、第3章で示された津波遡上解析等に基づいて算定する。算定にあたっては対象設備の設置状況（建屋との距離、配置等）を十分考慮の上、適切な算定式を用いる。また、建屋内の浸水深については、「4.5 浸水量評価」に基づき算定する。

【解 説】

浸水深については、評価対象となる設備の配置状況によって大きく変わる可能性があることから、本規程では設置状況（建屋との距離、配置等）を十分考慮の上、適切な算定式を用いて算出することを求めている。

なお、防護の多重化・多様化のため、津波防護施設（Se）又は浸水防止設備（Si）の不具合等を想定する必要がある場合で、その際の浸水に対して機能維持できるように設計する耐津波Sクラスの機能維持設計設備（St）にあつては、設計に用いる浸水深は、想定する不具合等の状況に対して算定をする。

5.3.1.2 津波波力及び浮力

津波波力及び浮力は、津波遡上解析等によって得られる敷地内浸水深、遡上流速を用いて、波力評価式より算定する。波力及び浮力の評価にあたっては、対象設備に作用する波力の特性及び設備の配置状況（建屋との距離、配置等）を十分考慮の上、適切な評価方法を用いる。

なお、津波波力及び浮力は、波力評価式より得られる静的（一定）荷重として扱うことを基本とする。

海水が漏水し浸水する場合の静水圧は、津波遡上解析等によって得られる敷地内浸水深に基づいて評価する。

【解 説】

ここでいう「波力評価式より算定する」とは、「3.3.3 陸上構造物・機器に作用する津波波力」に記載されている津波波力の評価式を参照し、設備形状等による評価式の適用範囲に留意して、波力を適切に算定することをいう。また、これら以外の評価式についても、試験等によりその妥当性が確認されている場合は、津波波力の評価に用いることができる。

機器・配管系においては、これらの評価式により算出された最大波力を保守的に静的

(一定)荷重として設計に用いる。ここで、保守的とは、「附参図 3.3-2 津波波圧の分類」に示すように、最大波圧の作用時間は短時間と考えられるが、この最大波圧による波力を静的（一定）荷重として取り扱うことを意味する。また、波力による機器・配管系の動的応答については、波力との共振現象による影響が考えられるが、影響の程度は以下の理由により小さいと想定した。

- ・機器・配管系の固有周期に対し、波力の変動周期は十分に長く共振するおそれは小さい。
- ・波力の継続時間において、配管系が流力振動により疲労損傷に至るおそれは小さい。

なお、これらに対する評価手法は十分に確立されていないが、今後の手法の開発に合わせて影響の程度を確認する。

津波波力及び浮力の評価方法には、津波遡上解析により算出された浸水深、遡上流速から波力評価式に基づいて算出する方法、あるいは対象設備周辺の領域を詳細なメッシュで分割し、三次元流体解析から算出する方法がある。三次元流体解析による方法は、複雑な形状の設備及び周辺施設の影響を精度良く考慮する場合に有効である。

5.3.1.3 漂流物衝突力

漂流物の衝突力は、漂流物を適切に想定し、津波遡上解析等によって得られる浸水深及び遡上流速に基づいて算定する。

【解 説】

対象漂流物の設定にあたっては、「5.2.2.3 漂流物により想定される事象」に基づき想定し、現地踏査等により、潜在的に漂流物となりうる対象とその形状及び数量について検討を行い、漂流物の特定を行う。

漂流物の漂流速度は、敷地内の施設配置によって、大きく変わる可能性があることから、衝突力の評価は、津波遡上解析結果等を踏まえて適切に実施する必要がある。

漂流物の衝突による荷重の算出については、「3.4 津波漂流物」を参照する。

5.3.2 荷重の組合せと許容限界

5.3.2.1 基本的考え方

耐津波 S クラスの機能維持設計設備 (St) 及び耐津波 B クラスの機能維持設計設備 (Bt) の機器・配管系に、「5.3.1 津波に起因する荷重」に示す津波外力が加わる場合に考慮すべき荷重の組合せの基本的な考え方は、以下のとおりとし、その結果発生する応力等が、「5.3.2.3 許容限界」を満足するように設計する。

なお、運転状態により生じる荷重は、「5.3.2.2.3 津波外力と組み合わせる運転状態」に従い津波外力と適切に組み合わせる。

(1) 耐津波 S クラスの機能維持設計設備 (St) の機器・配管系

運転状態により生じる荷重、並びに必要な応じて Ts 生起地震の余震による地震力と基準津波 Ts による津波外力とを組み合わせる。

(2) 耐津波 B クラスの機能維持設計設備 (Bt) の機器・配管系

運転状態により生じる荷重と耐津波 B クラスの施設の設計に用いる津波による外力とを組み合わせる。

5.3.2.2 荷重の組合せ

5.3.2.2.1 津波外力を考慮する機器・配管系

荷重の組合せは、津波外力が直接作用する耐津波 S クラスの機能維持設計設備 (St) 及び耐津波 B クラスの機能維持設計設備 (Bt) の機器・配管系に限定して考慮する。

【解 説】

津波外力は地震荷重とは異なり、直接作用する設備が機能維持設計設備 (St, Bt) に限定できる。

5.3.2.2.2 津波外力と組み合わせる余震による地震荷重

基準津波 T_s の来襲時に余震が発生する可能性を検討した上で、必要に応じて余震による地震荷重と津波外力とを組み合わせる。

津波外力と余震による地震荷重とを組み合わせる際は、津波の最大波力（津波先端の衝撃力）又は漂流物の衝突による衝撃力が施設に作用する時刻と、地震荷重が作用する時刻が一致する可能性は極めて低いと判断できることから、これらの津波外力（衝撃力）と地震荷重が同時に作用することを考慮する必要はない。

5.3.2.2.3 津波外力と組み合わせる運転状態

津波外力と運転状態による荷重の組合せは、考慮すべき荷重の組合せの中から厳しい評価を与えるものを選定し、耐津波 S クラスの機能維持設計設備（St）及び耐津波 B クラスの機能維持設計設備（Bt）の設計に適用する。ただし、屋外の耐津波 S クラスの機能維持設計設備（St）及び耐津波 B クラスの機能維持設計設備（Bt）の機器・配管系のうち、「設計・建設規格」に規定されたクラス 2，3 に区分される機器等では、厳しい評価を与える組合せとして、最高使用圧力，設計機械的荷重及び死荷重と津波外力との組合せを考慮することを基本とする。

【解 説】

(1) 屋外の機器・配管系の荷重の組合せ

原子力発電所の耐津波設計の実設計においては、機能維持設計設備（St，Bt）として設計される主たる対象設備は、屋外に設置されるタンク又は配管になると考えられる。これらの多くは「設計・建設規格」のクラス 2，3 に区分される機器に該当すると考えられることから、ここでは、屋外に設置されるクラス 2，3 機器を対象に、津波外力と組み合わせる具体的な運転時荷重を示した。

ここで示した運転時荷重は、津波外力と組み合わせた荷重条件が厳しい評価を与えるように、「設計・建設規格」の設計条件に該当する最高使用圧力，設計機械的荷重を考慮することを基本とした。

なお、屋外の機器・配管系において風荷重又は雪荷重を組み合わせる場合は、サイト条件に応じて設定される荷重条件が参考となる。

(2) 津波外力と組み合わせる運転状態の一般的な考え方

耐津波 S クラスの機能維持設計設備（St）及び耐津波 B クラスの機能維持設計設備（Bt）の機器・配管系を設計する際の荷重の組合せに関する知見は必ずしも十分ではなく、津波外力と組み合わせる運転状態は、今後、耐津波 S クラスの機能維持設計設備（St）及

び耐津波Bクラスの機能維持設計設備（Bt）の設計実績を反映し，必要に応じて見直していくことが望ましい。ここでは，耐津波Sクラスの機能維持設計設備（St）について，その際に参考となる津波外力と組み合わせる運転状態の一般的な考え方について以下に示す。

a. 津波の従属事象との組合せ

プラントの運転状態Ⅰ～Ⅳのうち，津波の従属事象となるプラントの運転状態を津波外力と組み合わせることが考えられる。

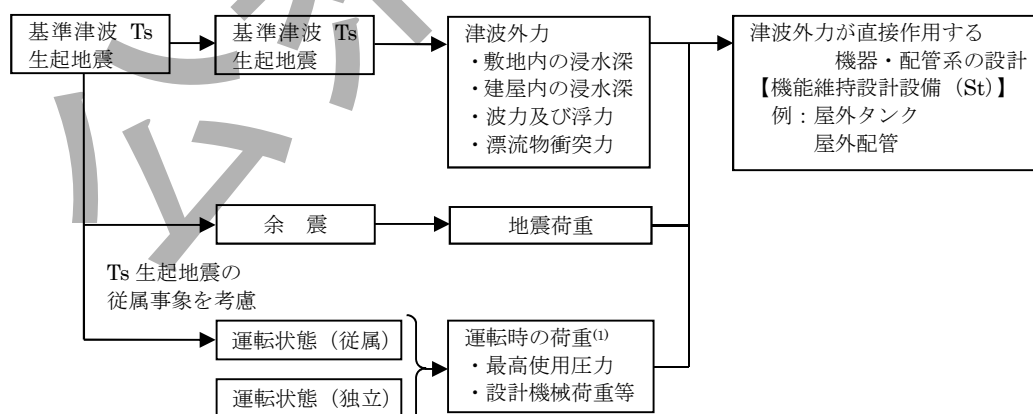
ここで，津波の発生原因は地震が主であることを踏まえ，Ts 生起地震による地震動を経験した後に，津波の影響を受けることになる。

Ts 生起地震によって引き起こされる運転状態については，Ts 生起地震の従属事象も含めて考慮することを考えると，「原子力発電所耐震設計技術規程」（JEAC4601-2021）「4.2.2 荷重の組合せ」に示される地震荷重と組み合わせる運転状態が参考となる。

b. 津波の独立事象との組合せ

プラントの運転状態Ⅰ～Ⅳのうち，津波に起因しない事象（独立事象）によるプラントの運転状態と津波外力との組合せは，これを確率的に考慮することが妥当と考えられる。津波と明らかに重畳しないプラントの運転状態については，考慮する必要はないと考えられる。

機器・配管系における津波外力，余震による地震荷重及び運転状態の組合せの考え方を，解図 5.3.2.2.3-1 に示す。



注(1) 津波外力が直接作用する機器・配管系の運転時荷重を考慮する。

解図 5.3.2.2.3-1 荷重の組合せの考え方〔機能維持設計設備（St）〕

5.3.2.3 許容限界

機器・配管系の許容限界は、津波外力に対する構造健全性、機能維持について、耐津波設計において適切と認められる規格、基準等に基づいて設定する。

(1) 許容限界の考え方

許容限界については、耐津波重要度に応じて以下の考え方に基づき設定するものとする。

a. 耐津波 S クラスの機能維持設計設備 (St)

機器・配管系については、基準津波 Ts での荷重の組合せを考慮した場合に発生する応力に対して、構造物の相当部分が降伏し、塑性変形する場合でも、過大な変形、き裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがないものとする。

動的機器・電気計装機器については、津波外力にて発生する応力、変形等に対して、動的・電氣的機能について設備に要求される機能を保持することを確認する。また、動的機器・電気計装機器が浸水等により機能喪失に至らないことを確認する。水密化対策等を施した場合は、試験又は解析に基づき適切に許容限界を設定する。

b. 耐津波 B クラスの機能維持設計設備 (Bt)

機器・配管系については、耐津波 B クラスの設計に用いる津波に対し、荷重の組合せを考慮した場合に発生する応力に対し、降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力を許容限界とする。

(2) 許容限界に対する設計

機器・配管系に作用する荷重として、津波による荷重に対し最高使用圧力、設計機械的荷重及び死荷重、さらに必要に応じて余震による荷重を適切に組み合わせ、生じる応力・変形等が許容限界に対して妥当な余裕を有する設計とする。また、津波の繰り返しの襲来による作用が機能に及ぼす影響を考慮する。

動的機器・電気計装機器は、津波による浸水等で機能喪失する浸水深に対し、妥当な余裕を有する耐水設計とする。

【解 説】

(1) 許容限界の考え方

本規程では、耐津波 S クラスの機能維持設計設備 (St) は、基準津波 Ts に対して、構造物の相当部分が降伏し、塑性変形する場合でも、過大な変形、き裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがないよう許容限界を要求した。また、直接津波外力が作用する動的機器・電気計装機器については、動作に係る構造強度を維持することを要求している。

なお、津波の繰り返しの襲来等を考慮する場合は、津波外力に対しおおむね弾性範囲に留める等、その特徴を考慮して設定する。

耐津波Bクラスの機能維持設計設備（Bt）は、耐津波Bクラスの設計に用いる津波に対して概ね弾性範囲に収まることを要求した。

構造健全性を確認する上で支配的となる「5.3.1.2 津波波力及び浮力」では、最大波力を保守的に静的（一定）荷重として扱うことを規定しており、この場合、波力等から求めた一次応力に対する許容限界を設け、構造健全性を評価することができると考えられる。

(2) 耐津波Bクラスの機能維持設計設備（Bt）の許容限界

耐津波Bクラスの機能維持設計設備（Bt）に要求される機能は、内包する放射性物質を保持するためのバウンダリ機能であるが、ここでは保守的に、降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力を許容応力とした。

5.4 個別設備の設計基準

機器・配管系の耐津波設計は、耐津波重要度に応じた津波外力に対し、原子炉施設の安全機能を阻害しないように設計する。津波外力に対する評価は、評価対象設備の挙動を適切に評価できるモデル、解析手法により行う。

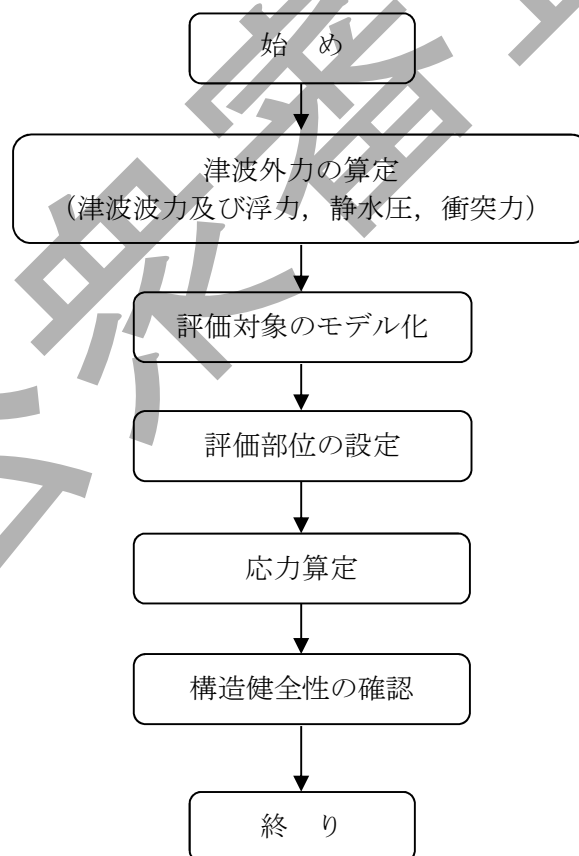
なお、本節では、屋外の機器・配管系を対象としている。建屋内の機器・配管系については、浸水防止設備（Si）の不具合等による建屋内浸水を想定し、建屋内の浸水量評価に基づき機能維持設計を実施する。この場合の浸水量評価は「4.5 浸水量評価」を参考に、浸水防止設備（Si）を適切に考慮して実施する。

【解 説】

「5.2.2 津波により想定される事象」により影響を受ける屋外の機器・配管系の構造健全性評価と動的・電気的機能維持評価について示す。

(1) 構造健全性

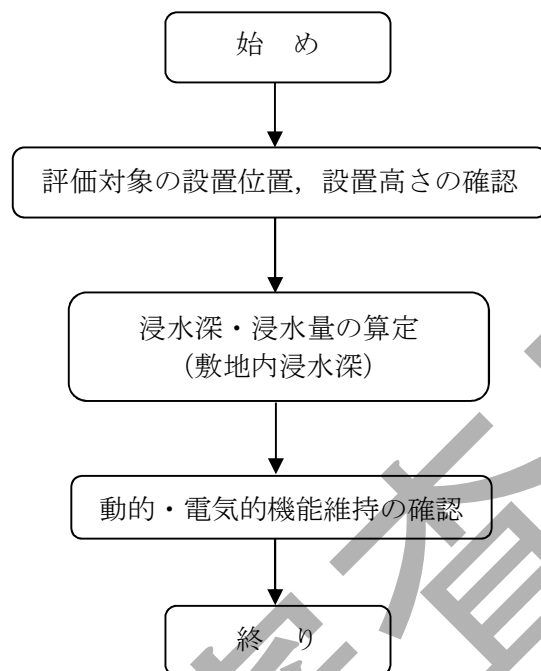
構造健全性は、応力評価で確認する。応力評価の基本的な流れを解図 5.4-1 に示す。



解図 5.4-1 応力評価の基本的な流れ

(2) 動的・電氣的機能維持

動的・電氣的機能維持評価の基本的な流れを解図 5.4-2 に示す。



解図 5.4-2 動的・電氣的機能維持評価の基本的な流れ

5.4.1 屋外設備

5.4.1.1 屋外タンクの耐津波設計

屋外タンクは，津波外力を受けた場合でも設備の機能が確保できるように設計する。

(1) 屋外タンクの許容応力

屋外タンクの許容応力は，表 5.4.1.1-1，表 5.4.1.1-2 に示すとおりとする。

表 5.4.1.1-1 胴の許容応力

耐津波クラス	一次一般膜応力強さ	一次膜＋一次曲げ応力強さ
B	$\min[S_y, (2/3)S_u]$ オーステナイト系ステンレス鋼 及び高ニッケル合金は， $1.2S_m$	左欄の 1.5 倍
S	$2/3S_u$ オーステナイト系ステンレス鋼 及び高ニッケル合金は， $\min[2.4S_m, (2/3)S_u]$	左欄の 1.5 倍

表 5.4.1.1-2 ボルト材の許容応力

耐津波クラス	引張応力	許容せん断応力
B	$1.5 \left(\frac{F}{1.5} \right)$	$1.5 \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$
S	$1.5 \left(\frac{F^*}{1.5} \right)$	$1.5 \left(\frac{F^*}{1.5\sqrt{3}} \right)$

ここで，表 5.4.1.1-1，表 5.4.1.1-2 で使用する記号の説明は以下のとおり。

S_u ：設計引張強さ，「材料規格」Part 3 第 1 章 表 7 に規定される値 (MPa)

S_m ：設計応力強さ，「材料規格」Part 3 第 1 章 表 1 に規定される値 (MPa)

S_y ：設計降伏点，「材料規格」Part 3 第 1 章 表 6 に規定される値 (MPa)

$S_y(RT)$ ：室温における設計降伏点，「材料規格」Part 3 第 1 章 表 6 に規定される値 (MPa)

F ：許容応力算定用基準値，材料の許容応力を決定する場合の基準値 (MPa)

$F = \min[S_y, 0.7S_u]$

ただし、使用温度が 40℃を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては、

$$F = \min[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$$

F^* ：供用状態Dに対する許容応力算定に用いる応力であつて、上記の F の値を算出する際に用いた S_y 及び $S_y(\text{RT})$ をそれぞれ $1.2S_y$ 及び $1.2S_y(\text{RT})$ と読み替えて算出した値 (MPa)

(2) 屋外タンクの座屈の防止

軸圧縮荷重と曲げモーメントが負荷される場合においては、次の不等式を満足しなければならない。

$$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1 \quad (5.4.1.1-1)$$

式(5.4.1.1-1)は $l/R \leq 5$ の場合に適用できる。ただし、強め輪等により $l/R \leq 0.5$ となる場合は、強め輪の効果を考慮することができる。ここで、

P : 軸圧縮荷重 (N)

A : 容器の断面積 (mm^2)

M : 曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

Z : 断面係数 (mm^3)

f_c : 軸圧縮荷重に対する座屈応力 (MPa)

f_b : 曲げモーメントに対する座屈応力 (MPa)

α_B : 安全率

l : 胴長 (mm)

R : 円筒の平均半径 (mm)

a) 軸圧縮荷重に対する座屈応力(f_c)

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{6800g} (F - \Phi_c \{\eta_2\})(\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \Phi_c \{\eta\} & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases} \quad (5.4.1.1-2)$$

ここで,

$$\Phi_c\{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16}\sqrt{\eta}\right) \right\} \right] \quad (5.4.1.1-3)$$

b) 曲げモーメントに対する座屈応力(f_b)

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{8400g} (F - \Phi_b\{\eta_3\})(\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \\ \Phi_b\{\eta\} & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases} \quad (5.4.1.1-4)$$

ここで,

$$\Phi_b\{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16}\sqrt{\eta}\right) \right\} \right] \quad (5.4.1.1-5)$$

c) 安全率(α_B)

$$\alpha_B = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600g} (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases} \quad (5.4.1.1-6)$$

記号の説明は以下のとおり。

F : 「設計・建設規格」SSB-3121.1において定める F の値 (MPa)

E : 材料の縦弾性係数 (MPa)

t : 円筒の板厚 (mm)

g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)

$$\eta = R/t$$

$$\eta_1 = 1200g/F$$

$$\eta_2 = 8000g/F$$

$$\eta_3 = 9600g/F$$

【解 説】

津波外力を受けた際に，タンクに要求される内部流体の保持等の安全機能の維持を確

認するための応力を許容限界として定めた。

5.3.1.2 項に示す通り、津波外力として屋外タンクへ考慮する津波波力及び浮力は、静的（一定）荷重として扱うことができるため、許容応力は一次応力に対する制限を適用する。

津波外力を受けた際の屋外タンクの許容応力は、5.3.2.3 項の許容限界の考え方に従い、耐津波 S クラスで安全機能が維持できること、耐津波 B クラスで概ね弾性範囲に収まることを確認するための応力を許容限界とした。

5.4.1.1(1)の屋外タンクの許容応力は、クラス 1 容器のものを代表として示している。耐津波 S クラスの機能維持設計設備（St）は、「設計・建設規格」PVB-3111, SSB-3133 に規定する供用状態 D の許容応力を、耐津波 B クラスの機能維持設計設備（Bt）は、「設計・建設規格」PVB-3111, SSB-3132 に規定する供用状態 C の許容応力を適用した。

対象設備に使用されている材料に対して表 5.4.1.1-1 で許容応力が定められない場合は、「原子力発電所耐震設計技術規程」（JEAC4601-2021）における以下の許容応力を用いることができる。

(1) 許容応力：一次一般膜応力強さ

1) 耐津波 B クラス： $\min[S_y, 0.6S_u]$

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金は、 $1.2S$

$\left[\begin{array}{l} S: \text{許容引張応力, 「材料規格」 Part 3 第 1 章 表 3} \\ \text{又は表 4 に規定される値 (MPa)} \end{array} \right]$

2) 耐津波 S クラス： $0.6 S_u$

(2) 許容応力：一次膜＋一次曲げ応力強さ

一次一般膜応力の 1.5 倍

具体的な強度評価法を「附属書（参考）5.1 個別設備の耐津波強度評価の考え方」に示す。

5.4.1.2 屋外配管の耐津波設計

屋外配管は、津波外力を受けた場合でも設備の機能が確保できるように設計する。

(1) 屋外配管の許容応力

屋外配管の許容応力は、表 5.4.1.2-1、表 5.4.1.2-2 に示すとおりとする。

表 5.4.1.2-1 配管本体の許容応力

耐津波クラス	一次応力
B	$\min[2.25S_m, 1.8S_y]$
S	$\min[3S_m, 2S_y]$

表 5.4.1.2-2 支持構造物の許容応力

耐津波クラス	一 次 応 力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧
B	$1.5f_t$	$1.5f_s$	$1.5f_c$	$1.5f_b$	$1.5f_p$
S	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$	$1.5f_c^*$	$1.5f_b^*$	$1.5f_p^*$

ここで、表 5.4.1.2-1、表 5.4.1.2-2 で使用する記号の説明は以下のとおり。

S_u : 設計引張強さ、「材料規格」Part 3 第 1 章 表 7 に規定される値 (MPa)

S_m : 設計応力強さ、「材料規格」Part 3 第 1 章 表 1 に規定される値 (MPa)

S_y : 設計降伏点、「材料規格」Part 3 第 1 章 表 6 に規定される値 (MPa)

$S_y(RT)$: 室温における設計降伏点、「材料規格」Part 3 第 1 章 表 6 に規定される値 (MPa)

$f_t^{(注)}$: ボルト材以外の支持構造物に対しては「設計・建設規格」SSB-3121.1、ボルト材に対しては「設計・建設規格」SSB-3131により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力 (MPa)

$f_s^{(注)}$: ボルト材以外の支持構造物に対しては「設計・建設規格」SSB-3121.1、ボルト材に対しては「設計・建設規格」SSB-3131により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力 (MPa)

$f_c^{(注)}$: ボルト材以外の支持構造物に対して「設計・建設規格」SSB-3121.1により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力 (MPa)

$f_b^{(注)}$: ボルト材以外の支持構造物に対して「設計・建設規格」SSB-3121.1により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力 (MPa)

$f_p^{(注)}$: ボルト材以外の支持構造物に対して「設計・建設規格」SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容支圧応力 (MPa)

(注) f_t, f_s, f_c, f_b, f_p の値の算出においては, F 値として次の値を用いる。

$$F = \min[S_y, 0.7S_u]$$

ただし, 使用温度が 40°Cを超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては,

$$F = \min[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT)]$$

ここで,

F : 許容応力算定用基準値, 材料の許容応力を決定する場合の基準値 (MPa)

$f_t^*, f_s^*, f_c^*, f_b^*, f_p^*$: 供用状態Dに対する許容応力算定に用いる応力であつて, 上記の f_t, f_s, f_c, f_b, f_p の値を算出する際, 上記 (注) の S_y 及び $S_y(RT)$ をそれぞれ $1.2S_y$ 及び $1.2S_y(RT)$ と読み替えて算出した値 (MPa)

【解 説】

津波外力を受けた際に, 配管に要求される内部流体の保持等の安全機能の維持を確認するための応力を許容限界として定めた。

5.3.1.2 項に示す通り, 津波外力として屋外配管へ考慮する津波波力及び浮力は, 静的 (一定) 荷重として扱うことができるため, 許容応力は一次応力に対する制限を適用する。

津波外力を受けた際の屋外配管の許容応力は, 5.3.2.3 項の許容限界の考え方に従い, 耐津波 S クラスで安全機能が維持できること, 耐津波 B クラスで概ね弾性範囲に収まることを確認するための応力を許容限界とした。

5.4.1.2(1)の屋外配管の許容応力は, クラス 1 配管のものを代表として示している。耐津波 S クラスの機能維持設計設備 (St) は, 「設計・建設規格」PPB-3562, SSB-3121.3 に規定する供用状態Dの許容応力を, 耐津波 B クラスの機能維持設計設備 (Bt) は, 「設計・建設規格」PPB-3552, SSB-3121.2 に規定する供用状態Cの許容応力を適用した。

対象設備に使用されている材料に対して表 5.4.1.2-1 で許容応力が定められない場合は, 「原子力発電所耐震設計技術規程」(JEAC4601-2021) における以下の許容応力を用いることができる。

(1) 許容応力：一次応力

1) 耐津波Bクラス： $\min[2.25S_h, 1.8S_y]$

2) 耐津波Sクラス： $\min[3S_h, 2S_y]$

$\left(\begin{array}{l} S_h: \text{最高使用温度における許容引張応力, 「材料規格」 Part 3} \\ \text{第1章 表3 又は表4 に規定される値 (MPa)} \end{array} \right)$

具体的な強度評価法を「附属書（参考）5.1 個別設備の耐津波強度評価の考え方」に示す。

5.4.1.3 動的機器・電気計装機器の耐津波設計

屋外の動的機器・電気計装機器は、浸水が許容水深まで達しない場所への設置若しくは、浸水した場合でも動的・電氣的機能維持が確保できるように設計（水密構造等）する。

なお、浸水した場合でも動的・電氣的機能維持が確保できるように設計（水密構造等）する場合においては、津波外力を受けた場合でも設備の機能が維持できるように設計する。

【解 説】

浸水に対する動的・電氣的機能維持に加えて、津波外力に対しても設備の機能維持を求めている。

原子力発電所の耐津波設計の実設計においては、直接津波外力が作用する動的機器・電気計装機器の代表的な設備として非常用の海水ポンプが挙げられる。ここで、「5.3.1.2 津波外力及び浮力」に示すとおり海水ポンプに直接津波外力が作用する場合は、算出された最大波力を静的（一定）荷重として扱い、当該荷重により動的・電氣的機能に影響を及ぼすような変形等が無いことを確認する。

具体的には、海水ポンプのうち海水中に設置される揚水管に津波外力が作用することを想定し、設置状況を鑑み管路解析等の適切な手法により津波外力による荷重を算定し、当該荷重に対して、揚水管、ポンプ基礎ボルト等に動的機能に影響を及ぼすような変形等が無いことを確認する方法が挙げられる。

5.4.1.4 波及的影響検討設備（漂流物となることを防止する設備）

津波によって漂流物となり、他の機器又は設備に衝突することによって大きな影響を及ぼすと想定される設備は、津波外力によって漂流物とならないようにアンカー等で固定し、固定部が波力及び浮力に対して破断しないように設計する。

【解 説】

波及的影響検討設備は津波外力によりそれ自体が損傷したとしても、アンカー等で基礎に固定することにより津波外力に対して、設備自体が漂流物化しないことが求められる。したがって固定部が破断に至らないことを確認する。

なお、波及的影響検討設備の支持機能を、機能維持設計設備（St, Bt）と同様に 5.3.2.3 項の許容限界に基づいて評価することで、漂流物にならないことを簡便、かつ、保守的に確認することができる。

附属書（参考）5.1 個別設備の耐津波強度評価の考え方

個別設備の耐津波強度評価に関する具体的な考え方を記載する。

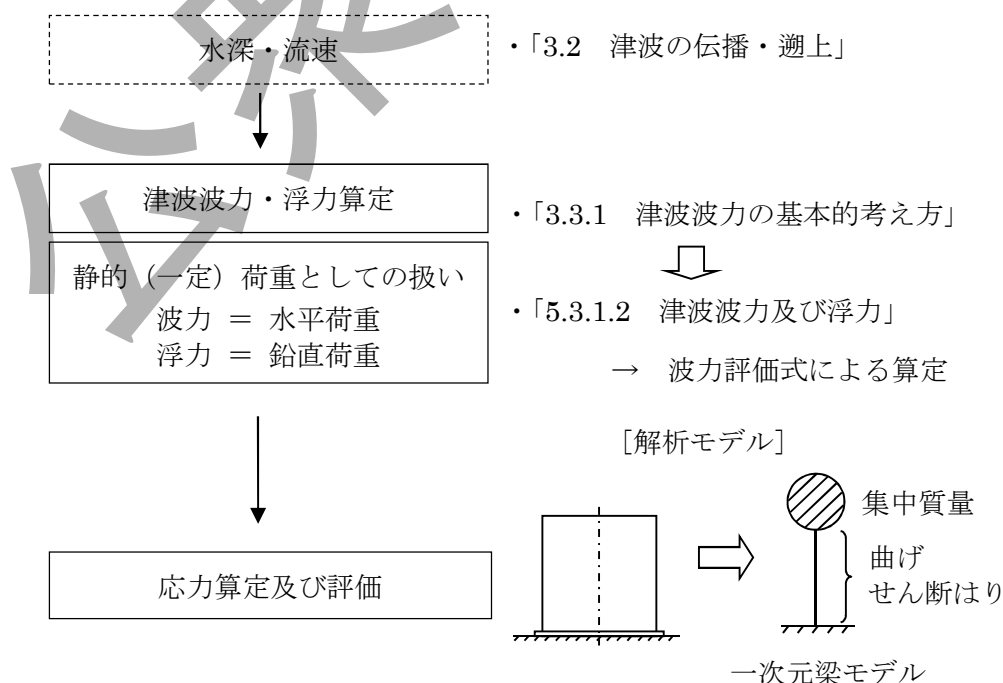
1. 屋外タンクに対する評価

(1) 応力評価方法

津波外力による応力評価では、波力及び浮力による荷重を静的（一定）荷重として扱い、強度評価を実施する。強度評価を実施する評価部位は、津波外力を想定した際、タンクの健全性を確認する上で必要な範囲とする。屋外タンクについては、平底円筒形タンクを想定する。タンク高さ以上の浸水がある場合には、天板についても評価を実施する。応力評価の手順を附参図 5.1-1 に示す。

- ① 「5.3.1.2 津波波力及び浮力」に基づき、波力及び浮力を算定する。
- ② ①にて算定した「浮力及び波力」を「静的（一定）荷重」として扱い、耐震設計と同様「1 質点系モデル」を用いた解析により、胴、基礎ボルトに作用する荷重を算定する。
- ③ 津波外力による応力、静水压又は内圧による応力、死荷重⁽¹⁾による応力を組み合わせた応力が許容応力以下となることを確認する。なお、必要により地震力による応力についても適切に組み合わせる。

注(1) 死荷重の算定においては、評価を実施する上で保守的となるように設定する。
(例：浮力を考慮する場合、水位が低い方が厳しいなど。)



附参図 5.1-1 タンクの応力評価の手順

(2) 評価部位及び応力分類

評価部位及び評価部位に対する応力分類を附参表 5.1-1 に示す。

附参表 5.1-1 評価部位及び評価部位に対する応力分類

評価部位	応力分類 ⁽¹⁾
胴	一次応力
	座屈
	内外水位差による座屈 ⁽²⁾
基礎ボルト	引張・せん断

注(1) 津波波力は静的（一定）荷重として扱うため一次応力を対象に評価する。

注(2) 安全上重要なタンクについては、常に内包物を含んでいると考えられるため、評価不要とする。

(3) 許容応力

「5.4.1.1 屋外タンクの耐津波設計」に規定する許容応力を適用する。

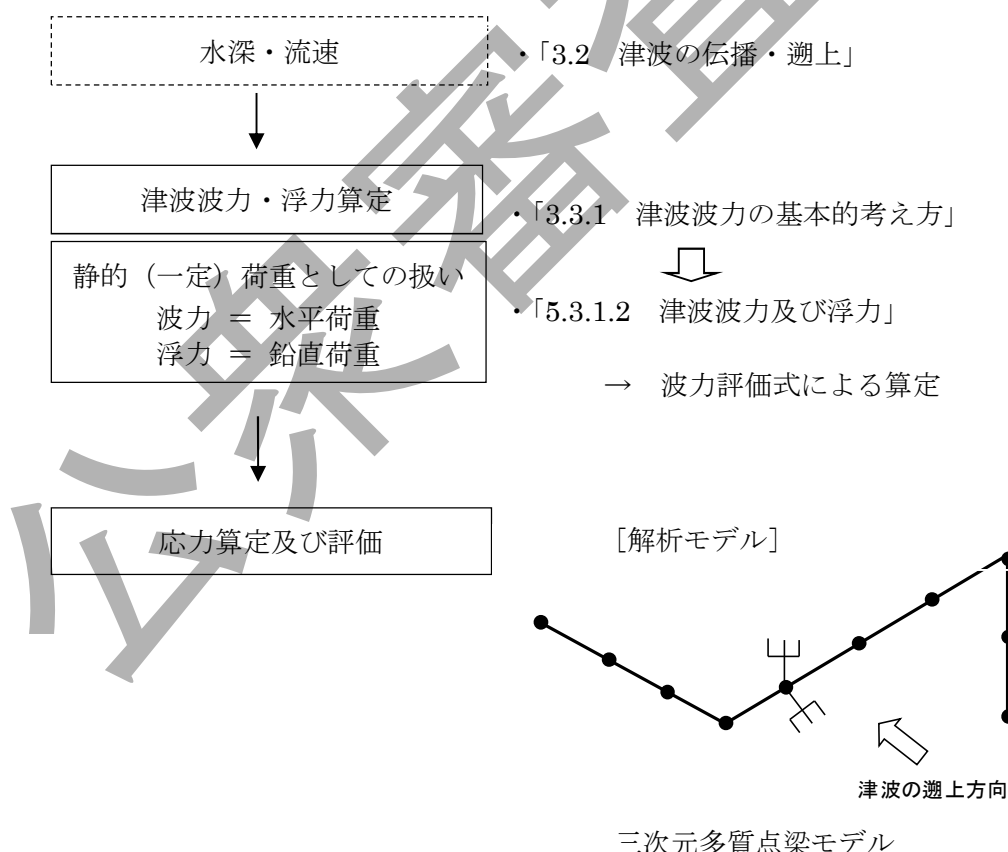
2. 屋外配管に対する評価

(1) 応力評価方法

津波外力による応力評価では、波力及び浮力による荷重を静的（一定）荷重として扱い、強度評価を実施する。強度評価を実施する評価部位は、津波外力を想定した際、配管の健全性を確認する上で必要な範囲とする。応力評価の手順を附参図 5.1-2 に示す。

- ① 「5.3.1.2 津波波力及び浮力」に基づき、波力及び浮力を算定する。
- ② ①にて算定した「浮力及び波力」を「静的（一定）荷重」として扱い、耐震設計と同様「三次元多質点梁モデル」を用いた解析により配管各断面のモーメント、支持構造物の反力を求め、配管本体及び支持構造物の応力を算定する。
- ③ 津波外力による応力と死荷重による応力、内圧等による応力とを組み合わせた応力が許容応力以下となることを確認する。なお、必要により地震力による応力についても適切に組み合わせる。

評価部位及び評価が必要な応力分類を附参表 5.1-2 に示す。



附参図 5.1-2 配管の応力評価の手順

(2) 評価部位及び応力分類

評価部位及び評価部位に対する応力分類を附参表 5.1-2 に示す。

附参表 5.1-2 評価部位及び評価部位に対する応力分類

評価部位	応力分類 ⁽¹⁾
配管本体	一次応力
支持構造物	一次応力

注(1) 津波波力は静的（一定）荷重として扱うため一次応力を対象に評価する。

(3) 許容応力

「5.4.1.2 屋外配管の耐津波設計」に規定する許容応力を適用する。

第 6 章 津波による個別の事象に対する 耐津波設計

6.1 適用範囲

本章で定める事項は、津波による影響及び津波随件事象のうち、砂移動、水位低下又は津波随伴火災による影響を受ける施設の設計に適用する。

兵庫県庁

6.2 取水性の維持に係る設計

6.2.1 水位低下に対する設計

6.2.1.1 水位低下により想定される事象及び施設の機能要求

水位低下により，海水ポンプによる取水に支障が出る可能性について想定し，海水面の高さが耐津波 S クラスの海水ポンプの取水可能水位を下回らないように設計する。水位低下時の海水面高さが海水ポンプの取水可能水位を下回る場合，その間原子炉の冷却継続に支障とならないように設計する。

6.2.1.2 水位条件

津波時に想定される引き波の水位（水位の時刻歴変化）は津波伝播解析により適切に評価する。水位の時刻歴変化の評価においては，地震により敷地が隆起すると想定される場合には，これを考慮する。

6.2.1.3 設計基準

津波時に想定される水位低下に対して，取水口からの海水の流入が継続的に維持でき，耐津波 S クラスの海水ポンプの取水が維持できるように取水施設及び海水ポンプを設計する。

取水口からの海水の流入が継続的に維持できない場合には，その間の冷却能力の低下が原子炉の冷却継続に支障とならないことを評価する。また，必要に応じ海水ポンプの取水が可能となるよう取水施設に海水を貯留する構造を設ける等の対策を行う。

【解 説】

具体的な設計の考え方を「附属書（参考）6.1 取水が継続的に維持できない場合の設計の考え方」に示す。

6.2.2 砂移動に対する設計

6.2.2.1 砂移動により想定される事象及び施設の機能要求

津波により取水口付近の砂の移動・堆積及び取水施設内への砂の混入が想定される。

津波による砂移動・堆積及び海水中への砂の混入に対して，耐津波 S クラスの海水ポンプの取水機能が維持されるように設計する。

6.2.2.2 取水施設の設計基準

基準津波 T_s の襲来時に想定される砂移動・堆積に対して，耐津波 S クラスの海水ポンプの取水口が閉塞しないよう設計する。

取水口付近において，砂の顕著な堆積が想定される場合には，砂が流入し難い構造となるように設計する。

6.2.2.3 海水ポンプの設計基準

耐津波 S クラスの海水ポンプは，基準津波 T_s の襲来時に想定される海水中への砂の混入に対して，ポンプが損傷せず，取水機能が確保できるように設計する。また，海水中の砂濃度が顕著に上昇することが想定される場合には，沈砂等の砂濃度の低減対策と併せて，海水ポンプが砂の混入に対して損傷しないよう対策を行う必要がある。

【解 説】

海水ポンプの耐津波設計では，取水施設内の粒径別砂濃度，津波の継続時間，津波来襲中及び津波来襲後に必要な運転時間を評価条件とし，適切な手法に基づいて，海水ポンプが損傷せず取水機能が維持されていることを確認する。また，機能維持の確認では，損傷モードと損傷部位を適切に想定することが重要である。

＜損傷モードと損傷部位の想定例＞

- ① ポンプ隙間部への砂の流入による損傷（水中軸受の摩耗等）
- ② ポンプ本体への砂の流入による損傷
- ③ その他部位の損傷（砂移動対策部位等の損傷）

6.3 津波随伴火災に対する設計

6.3.1 津波随伴火災に対する施設の機能要求

津波随伴火災により，耐津波Sクラス施設の機能が阻害されることがないように設計する。

6.3.2 設計基準

原子炉施設の津波を起因とする火災に対して，火災発生防止，火災感知及び消火，火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護設計を行う。また，火災防護設計の実効性を高めるために，運用面の対策を適切に組み合わせて実施する。

なお，消火に必要となる資機材は，原則として「**原子力発電所の火災防護規程**」(JEAC4626-2010)に準じる。

【解 説】

原子炉施設の津波を起因とする火災から防護するための具体的対策を以下に示す。

(1) 火災発生防止

可燃物を内包する設備（屋外油タンク等）の耐津波設計を実施し，津波時に可燃物を流出・漂流させないように配慮する。また，着火源となる可能性のある電気系統に係る設備に対して耐津波設計を実施し，着火源となることを防止する。

(2) 火災感知及び消火

万一，火災が発生した際に迅速に消火活動を実施できるようにするため，火災から防護すべき耐津波設計上重要な施設の近傍に泡消火剤，可搬式消火ポンプ等の消火設備を津波の影響を受けないよう配備する。

(3) 火災の影響軽減

火災から防護すべき耐津波設計上重要な施設の近傍に，漂流物の接近を防止するための障壁（漂流物対策施設）を設置又は施設表面（建屋壁，貫通部，扉など）を防火対策することにより，施設表面の火災による損傷を防止する。ただし，防潮堤及び取放水路の防潮壁設置により浸水のおそれがない場合，又は火災発生防止により火災発生のおそれがない場合，この限りでない。

(4) 運用面の対策

津波を起因とする火災が発生した場合に備え，構内常駐の自衛消防隊を組織する。作

業員等による構内の監視，巡回を実施し，万一の火災の際には自衛消防隊により速やかに消火活動を実施する。

全県準備用

附属書（参考）6.1 取水が継続的に維持できない場合の設計の考え方

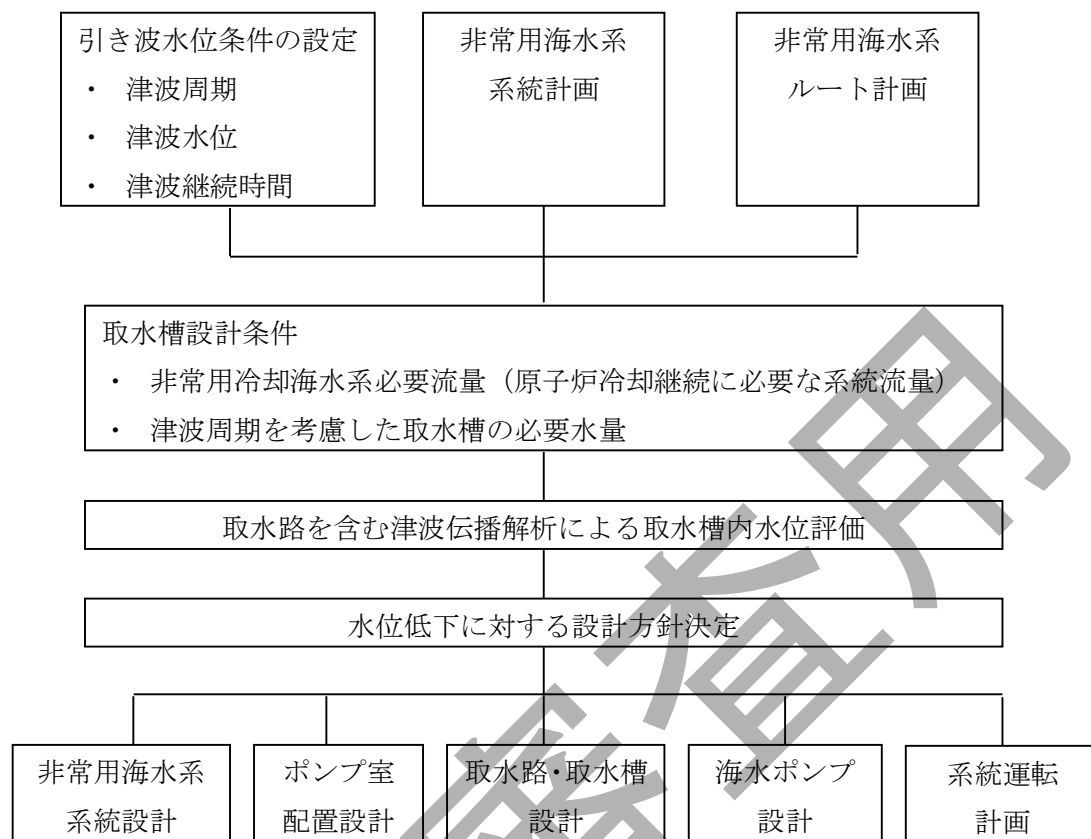
海水ポンプによる冷却が期待できない場合にも、原子炉隔離時冷却系、補助給水系等の運転継続が可能な期間は原子炉の冷却継続が可能である。したがって、水位低下時に海水ポンプを一時的に停止し、水位回復した後に、再度海水ポンプを運転することにより、安全機能を損なうことなく冷却継続することは可能である。ただし、水位低下時にポンプが無水で運転され損傷に至ることがないように、海水ポンプを停止する運用を取り決めておくことが重要である。

一方、原子炉隔離時冷却系、補助給水系等の運転継続が可能な期間に水位回復が見込まれない場合は、冷却能力の強化が必要となるが、水位低下時にも冷却能力を確保する方法として、海水ポンプの取水を可能とする取水構造の一つである取水の貯留槽化又は海水冷却ではない冷却設備（空冷設備）の設置が想定される。貯留槽化を行った場合、貯留槽内の海水が有限となるため、水位が回復するまでの間に貯留槽内の海水が枯渇しないよう、貯留槽容量を確保することが重要である。また、貯留槽の容量は、最低限、原子炉の冷却継続を満足する容量とすることも重要である。

なお、この場合には、他の海水ポンプを停止させることが必要となること又は誤運用により取水槽の水源が空になるおそれがあるため、海水ポンプ停止に関し、運用を取り決めておくことが重要である。

附参図 6.1-1 に水位低下に対する設計手順を示す。非常用系海水と常用系海水を共用している取水路・取水槽にあって、常用系海水による水位低下が想定される場合にはこれを考慮する。

附参図 6.1-1 は、津波伝播解析により引き波の水位条件を設定し、系統仕様、配置条件に基づき、取水槽の設計条件を設定した後、取水路を含む津波伝播解析により算定される取水槽の水位に基づき、水位低下に対する設計方針を設定し、非常用海水系の設計を実施する一連の流れを示している。



附参図 6.1-1 水位低下に対する設計手順

第 7 章 原子炉施設の耐津波性能評価

7.1 耐津波性能評価の目的

重要な安全機能を有する施設の耐津波設計により，原子炉施設全体として所要の耐津波性を有すること及び均衡の取れた耐津波性能が達成されていることを確認するため，原子炉施設全体としての耐津波性能の検証を行う。

【解 説】

耐津波性能とは，原子炉施設全体として，津波に起因する外乱に対し，どこまで耐性を有するか設計上の能力をいう。原子炉施設における耐津波設計の対象は，防潮堤，建屋，水密扉，その他の機器・配管系等と多岐に渡っており，かつ，これらの機器が総合的に機能することが重要であることから，原子炉施設全体としての耐津波性能の評価（例えば津波高さに対する裕度評価）が重要である。

7.2 原子炉施設全体としての耐津波性能の検証

各施設の耐津波性、施設間の取り合い等を考慮した浸水経路の網羅性等の確認による原子炉施設全体としての耐津波性能の検証を行う。

【解 説】

原子炉施設全体として所要の耐津波性能を得るためには、各津波防護施設及び浸水防止設備間の取り合いを考慮した浸水経路想定の網羅性の確保が重要となる。

原子炉施設が複雑なシステム構成であることを踏まえると、原子炉施設全体の耐津波設計が完了した段階における津波防護施設と浸水防止設備との取り合い等に関する設計情報を用いた浸水経路の確認、現地の施工が完了した段階における踏査等を行うことが、原子炉施設全体としての耐津波性能の検証を行う上で有効である。浸水経路の確認、踏査等の結果、原子炉施設全体の耐津波性能に対する阻害因子が抽出された場合には、検証結果を各施設の耐津波設計へ反映する。

なお、踏査の手法として、「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2016」（一般社団法人 日本原子力学会）に示される「サイト・プラントウォークダウン」が参考となる。

7.3 耐津波性能評価

7.3.1 耐津波性能評価手法

(1) イベントツリーの作成

津波による影響及び津波随伴事象，並びに事故進展の形態などの主要因を分析し，事象がどのように進展するかを，関連する影響緩和機能の動作の成否などを分岐としたイベントツリーを作成して表現する。

(2) 影響緩和機能の耐津波性能分析

イベントツリーにおいて事象収束に必要な機能として選定された影響緩和機能について設計余裕を分析し，原子炉施設全体の耐津波性能においてぜい弱な影響緩和機能を特定する。設計余裕の分析のため，当該影響緩和機能を形成する各施設のフォールトツリー分析を耐津波性能に着目して実施し，当該施設のぜい弱部位を特定する。

(3) 原子炉施設全体としての耐津波性能の確認

特定の施設が支配的となり原子炉施設全体としての耐津波性能を決定づけていないことを確認する。

【解 説】

耐津波性能評価は，個々の施設が耐津波設計における性能目標を満足しているものの，特定の施設が支配的となり原子炉施設全体としての耐津波性能を決定づけることがないよう評価を行い，必要に応じて施設の耐津波設計にフィードバックすることを目的として規定したものである。また，耐津波性能の分析手法を継続的に開発していくことで，各施設の耐津波性能向上のための技術開発に寄与することが期待できる。

評価手法には確率論的リスク評価の基本となるイベントツリー並びにフォールトツリーを用いるとしたが，これらの評価においては設計情報に基づく確定論的な裕度評価を実施する。これにより各施設の津波に対するぜい弱部位を把握することができ，設計改善項目を特定することができる。また，本規程では，各施設の津波に対するぜい弱部位の把握のために確定論的な手法を定めているが，確率論的な手法を用いることもできる。

耐津波性能評価の例を，「附属書（参考）7.1 耐津波性能評価の例」に示す。

本評価結果すなわち設計余裕に対して数値的目標を明示することは，設計規定としては適切でないので，数値目標は記載しない。

なお，超過津波も考慮した原子炉施設全体の耐津波性能の十分性については，超過津波が発生する可能性，超過津波がもたらす原子炉施設への影響，これらに対応したアクシデントマネジメント策等を加味した総合的なリスク評価（「附属書（参考）1.1 超過津波対策への推奨事項」）の中で，判断することとなる。

7.3.2 耐津波設計への反映

原子炉施設全体の耐津波性能を合理的に改善させるため，原子炉施設全体の耐津波性能においてぜい弱な影響緩和機能については，特定された施設のぜい弱部位の性能を向上させる施策を行うか，又は当該施設の多様性を追求するなどの設計の再検討を行う。

附属書（参考）7.1 耐津波性能評価の例

附属書（参考）7.1 は、「7.3.1 耐津波性能評価手法」を受けて、具体的な評価方法の例を記載したものである。この例は確率論的リスク評価（以下、「PRA」という。）の基本となるイベントツリー⁽¹⁾及びフォールトツリー⁽²⁾、並びに設計情報に基づく確定論的な裕度評価を用いて、原子炉施設の津波に対するぜい弱部位を特定し、事象進展防止措置の有効性を評価する手法の例である。

1. 評価実施事項

(1) 建屋、系統、機器等の裕度評価

津波高さが基準津波 T_s の高さを超える程度に応じて、耐津波設計上重要な施設が損傷・機能喪失するか否かを基準津波 T_s の高さとの比較又は津波 PRA の知見等を踏まえて評価する。

(2) 津波に対するぜい弱部位の特定

(1)項の評価結果を踏まえて、津波によって発生する起因事象⁽³⁾により燃料の重大な損傷に至る事象の過程を、イベントツリーを用いて同定する。イベントツリーにおいて、その成否により起因事象の収束シナリオに影響するものとして選定された緩和機能（以下、「影響緩和機能」という。）のうち、原子炉施設全体の耐津波性能においてぜい弱となるものを特定する。また、そのときの津波高さを明らかにする。

(3) 事象進展防止措置の評価

ぜい弱と評価された影響緩和機能への対応を含め、燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止するための措置について、多重防護の観点から、その効果を示す。

2. 評価方法

原子炉にある燃料及び使用済燃料貯蔵プールにある燃料を対象に、様々な高さの津波に対する発電所敷地内及び建屋内への浸水評価により、燃料の冷却に必要な機器等のうち浸水によって機能喪失するものを同定し、どの程度の高さの津波まで燃料の冷却が可能かを評価する。以下に評価手法を示す。評価フロー図を附参図 7.1-1 に示す。

注(1) イベントツリー：起因事象を出発点に、事象がどのように進展して最終状態に至るかを、関連する緩和機能の作動の成否などを分岐として樹形状に展開した図式

注(2) フォールトツリー：系統・機器等の機能喪失といった頂上事象の発生の原因を展開し、それらを論理記号（論理積：AND，論理和：OR 等）で結合して樹形状に展開した図式

注(3) 起因事象：通常の運転状態を妨げる事象であって、燃料の損傷へ波及する可能性のある事象

(1) 評価する損傷モード

津波に対する損傷モードとして水位上昇による浸水と水位低下による取水性への影響を考慮する。水位低下による取水性への影響が小さいことを示せる場合には、損傷モードとして水位上昇による浸水のみを評価する。

(2) 機器等の許容津波高さの評価

a. 起因事象の選定

原子炉にある燃料及び使用済燃料貯蔵プールにある燃料について、以下の考え方に基つき津波を起因として燃料損傷に波及する可能性のある起因事象を選定する。

- ・ 原子炉にある燃料については、「**発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針**」(平成2年8月30日 原子力安全委員会決定)に示される安全評価事象、内的事象 PRA での起因事象及び津波の影響として固有に考慮すべき事象を勘案の上、津波を起因として燃料損傷に波及する可能性のある起因事象として選定する。
- ・ 使用済燃料貯蔵プールにある燃料については、使用済燃料貯蔵プールの除熱失敗を引き起こす事象を起因事象として選定する。

b. 影響緩和機能の抽出及び収束シナリオの特定（イベントツリーの作成）

選定した各起因事象に対して、事象の影響緩和に必要な機能を抽出し、イベントツリーを作成の上、事象の進展を収束させる収束シナリオを特定する。

イベントツリーの作成にあたっては、これまでの PRA で用いられている成功基準、事故シーケンス分析の結果に基づき展開された各起因事象に対するイベントツリーを参考にすることができる。

c. 起因事象、影響緩和機能に関連するフォールトツリー分析及び設備等の抽出

b.項で作成したイベントツリーの各起因事象が発生する原因及び各影響緩和機能（その成否により起因事象の収束シナリオに影響する安全機能）が機能喪失する原因を、各施設の機能喪失事象まで展開したフォールトツリーを作成して同定する。

上記の各施設は、耐津波 S クラス及び燃料の重大な損傷に関係し得るその他のクラスの建屋、系統、機器等とする。具体的には、a.項にて選定した各起因事象に直接関連する設備等に加え、フロントライン系に必要な設備等（主要設備）及びサポート系に必要な設備等（補助設備）について、各起因事象を収束させるのに必要な設備等を対象として抽出する。

d. 起因事象及び影響緩和機能に関連する設備等の許容津波高さの評価

抽出した各設備等について、津波に対する損傷モード（水位上昇による浸水）を考慮の上、設備が機能維持できる津波高さ（以下、「許容津波高さ」という。）を以下の a)、b)の手順で評価する。

- a) 当該評価に必要な設備等について、設置場所及び設置高さを調査する。
- b) 津波高さが許容津波高さを超えると、当該設備等は機能喪失するものとし、設計津波高さを何 m 上回る津波で設備が損傷・機能喪失するかを設備ごとに評価する。

(3) 津波に対するぜい弱部位の特定

a. 各起因事象が発生する許容津波高さの特定

(2)a.項において選定した各起因事象について、(2)d.項で求めた各設備等の許容津波高さの評価結果を用いて、どの程度の津波高さで起因事象が発生するかを特定する。

b. 各影響緩和機能の許容津波高さの特定

(2)d.項で求めた各設備等の許容津波高さを使用し、当該起因事象に対するイベントツリーに含まれる影響緩和機能の許容津波高さを特定する。具体的には、(2)c.項で作成したフォールトツリーで同定した各影響緩和機能を構成する各設備等について、(2)d.項の結果から許容津波高さを同定し、最も低い許容津波高さを当該影響緩和機能の許容津波高さとして特定する。

c. 各収束シナリオの許容津波高さの特定

a.項で求めた各起因事象が発生する許容津波高さと b.項で求めた各収束シナリオの影響緩和機能の許容津波高さから、各収束シナリオの許容津波高さを特定する。ここで、各収束シナリオの許容津波高さは必要な各影響緩和機能の許容津波高さのうち最も低いものとなる。

d. 各収束シナリオにおける津波に対するぜい弱部位の特定

各収束シナリオのうち、許容津波高さの特定に係わる不確実さがあることを踏まえ、許容津波高さの最も低い収束シナリオを含む複数の収束シナリオを抽出するとともに、各収束シナリオの成否に影響を与える影響緩和機能及びその設備を津波に対するぜい弱部位として特定する。

(4) 対策に係る効果の確認

a. 燃料の重大な損傷を防止するための措置

(3)項で特定した津波に対するぜい弱部位（支配的となっている影響緩和機能及び設備）及び(2)b.項のイベントツリーを基に、燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止するために必要な対策を特定する。

対策の特定にあたっては、許容津波高さが有意に低い影響緩和機能を改善することで、最も許容津波高さが低い収束シナリオの裕度が大きく向上する。あるいは、複数の収束シナリオに共通となる影響緩和機能を改善することで、複数の収束シナリオの

裕度が同時に向上する等の対策の実効性を考慮することが重要であり、これにより効果的に耐津波性の均衡性を確保することが可能となる。

なお、耐津波性の均衡性を確保するとは、個別施設の設計を総合して施設全体としての設計裕度を分析し、各施設の設計のバランスを確保することを意味する。

b. 安全対策実施前後の裕度

a.項の措置について、当該措置を実施したことにより、どのように燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止できるか、イベントツリーで明確化するとともに、安全性の改善度合いを評価する。

評価の結果、均衡性が確保され、安全性が改善されると判断されれば、耐津波性能評価は終了となり、均衡性が確保されていないと判断されれば、(3) b.項以降を再度実施する。

3. 評価例

「2. 評価方法」に従い、原子炉にある燃料に関する耐津波性能の評価例を以下に示す。

(1) 評価する損傷モード

津波に対する損傷モードが水位上昇による浸水の場合を例示する。

(2) 機器等の許容津波高さの評価

a. 起因事象の選定

原子炉にある燃料に関して、津波を起因として燃料損傷に波及する可能性のある起因事象として、外部電源喪失を含めた起因事象が選定されている場合について例示する。

b. 影響緩和機能の抽出及び収束シナリオの特定（イベントツリーの作成）

選定した各起因事象のうち外部電源喪失を起因事象とした場合について、事象の影響緩和に必要な機能を抽出し、関連する影響緩和機能の動作の成否などを分岐として作成したイベントツリーの例を附参図 7.1-2 に示す。附参図 7.1-2 では事象がどのように進展するかをイベントツリーで表現しており、事象の進展を収束させる三つの収束シナリオを特定している。

c. 起因事象、影響緩和機能に関連するフォールトツリー分析及び設備等の抽出

b.項で作成したイベントツリーの各影響緩和機能（その成否により起因事象の収束シナリオに影響する安全機能）のうち、原子炉格納容器ベントを対象に、当該機能が喪失する原因を、各施設の機能喪失事象まで展開したフォールトツリーを作成した例を附参図 7.1-3 に示す。

d. 起因事象及び影響緩和機能に関連する設備等の許容津波高さの評価

抽出した各設備等について、津波に対する損傷モード（水位上昇による浸水）を考慮の上、設備が機能維持できる津波高さ（以下、「許容津波高さ」という。）を評価した結果の数値例を附参図 7.1-2 及び附参図 7.1-3 に示している。

(3) 津波に対するぜい弱部位の特定

a. 各起因事象が発生する許容津波高さの特定

附参図 7.1-2 の例では起因事象（外部電源喪失）については、12.2m を上回る津波高さで発生すると特定し、この評価結果を左上に表示している。

b. 各影響緩和機能の許容津波高さの特定

(2)d.項で求めた各設備等の許容津波高さを使用し、当該起因事象に対するイベントツリーに含まれる影響緩和機能の許容津波高さを特定した結果の数値を附参図 7.1-2 の各分岐の部分に例示している。

これらの数値は、(2)c.項で作成したフォールトツリーで同定した各影響緩和機能を構成する各設備等について、(2)d.項の結果から許容津波高さを同定し、最も低い許容津波高さを当該影響緩和機能の許容津波高さとして特定している。このうち残留熱除去系による原子炉からの除熱（原子炉停止時冷却モード）失敗の例を附参図 7.1-3 に示す。

c. 各収束シナリオの許容津波高さの特定

附参図 7.1-2 の例では b.項で求めた三つの収束シナリオについて、影響緩和機能の許容津波高さから、各収束シナリオの許容津波高さを、各収束シナリオに必要な各影響緩和機能の許容津波高さのうち最も低いものとして特定している。

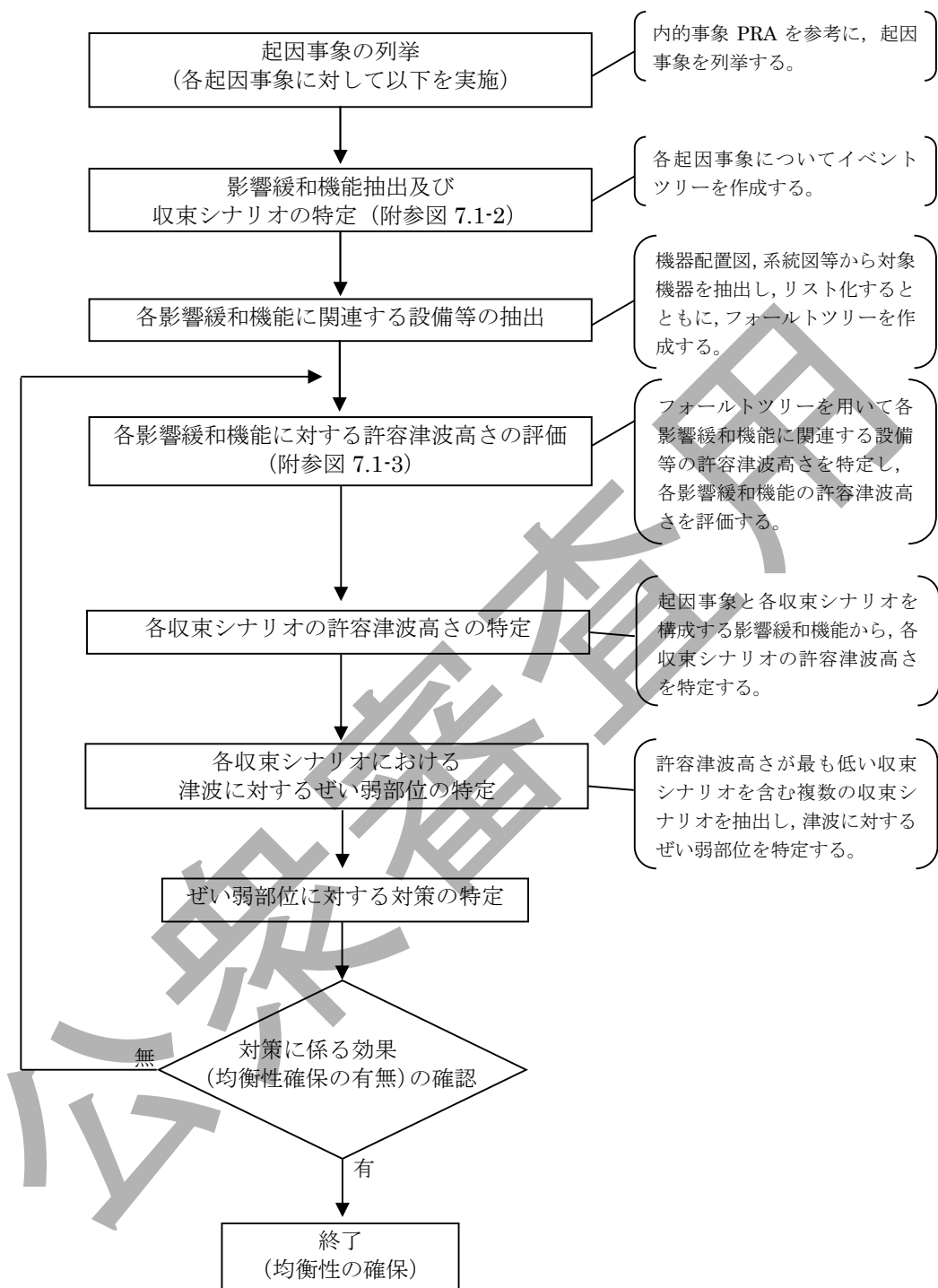
d. 各収束シナリオにおける津波に対するぜい弱部位の特定

附参図 7.1-2 の例では三つの収束シナリオのうち、収束シナリオ①は許容津波高さが 13.7m であり、他の収束シナリオ②、③の許容津波高さ（15.8m、16.0m）と比較して低いことが分かる。附参図 7.1-2 を見ると、収束シナリオ①に必要な影響緩和機能のうち、原子炉除熱機能の許容津波高さが他の影響緩和機能と比較して低くなっており、収束シナリオ①の成否に影響を与える原子炉除熱に関わる施設（残留熱除去系）を津波に対するぜい弱部位として特定している。

(4) 対策に係る効果の確認

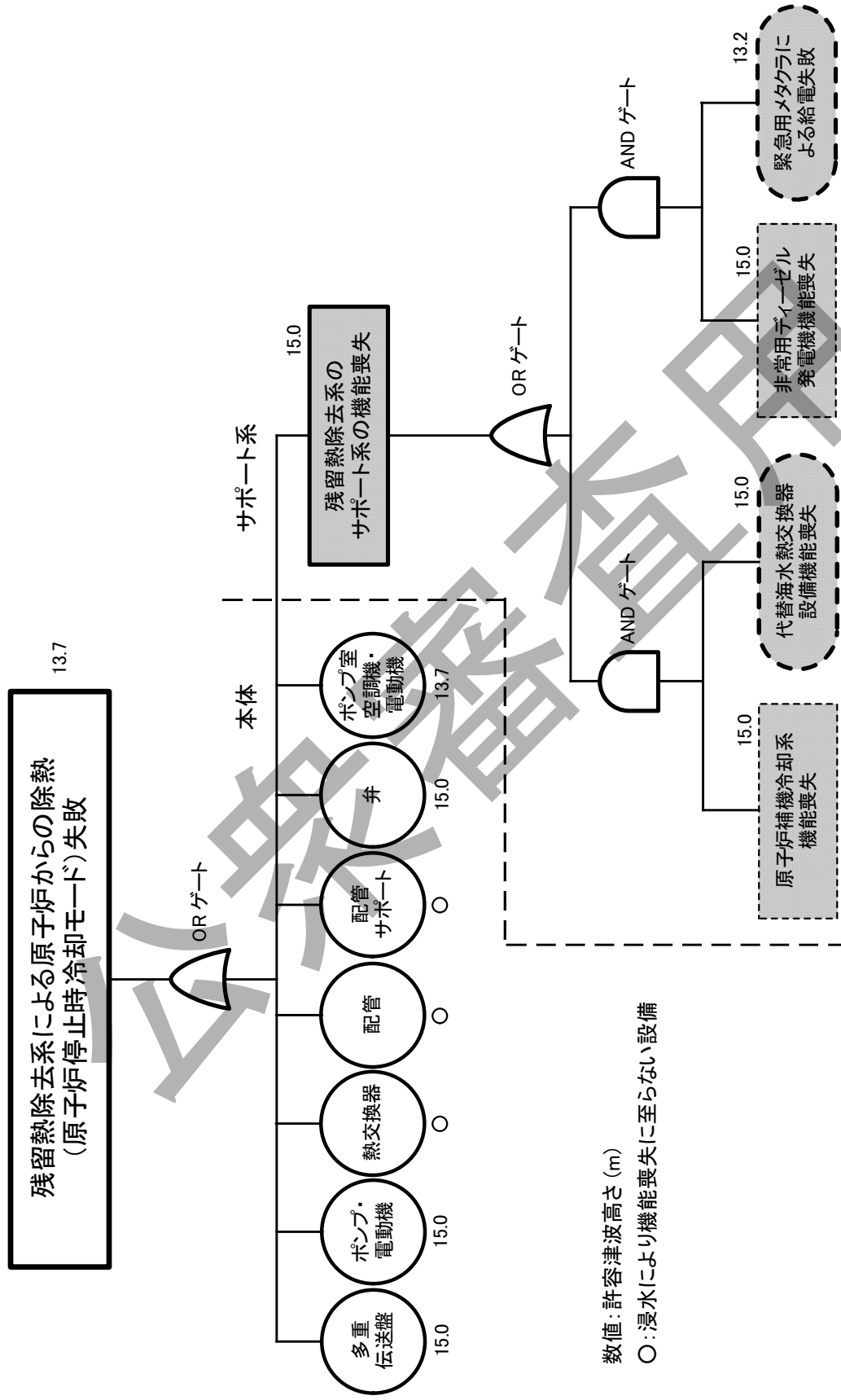
この評価例において、ぜい弱部位として特定した残留熱除去系の耐津波性を向上する対策を実施し、許容津波高さを 16m 程度に向上させた場合、16m程度の津波による外部電源喪失に対して三つの収束シナリオで対応できるようになる。

この場合、一つの施設の耐津波性の向上により、原子炉施設全体の耐津波性能を効果的に向上することができ、均衡性が確保される結果となる。



附参図 7.1-1 津波裕度評価フロー





附参図 7.1-3 残留熱除去系による原子炉からの除熱 (原子炉停止時冷却モード) 失敗のフォールトツリーの例

第 8 章 津波検知と運転管理

8.1 津波の検知

8.1.1 津波監視設備の整備

耐津波 S クラス施設の機能への影響が想定されるような津波が襲来する場合に備え、津波襲来及び規模を検知する津波監視設備を予め備える。

また、津波襲来時に非常用海水系の取水を確保するために常用の海水冷却系を停止する運用を行う場合、非常用海水ポンプの損傷防止を図るために非常用海水冷却系を一時的に停止する場合は、潮位又は取水ピット水位の低下を検知できる津波監視設備を予め備える。

【解 説】

(1) 津波検知の必要性

本規程に従い耐津波 S クラス施設に耐津波設計を施すことにより、基準津波 T_s に対して原子炉施設の安全性を確保することができるが、これを超える津波が襲来する場合には、耐津波 S クラス施設の機能に影響が及ぶ可能性がある。津波が敷地に襲来する前に津波の規模と襲来時刻を知ることができれば、津波襲来時に原子炉施設をより安全な状態にしておくこと（津波襲来後の対応をより容易に行うことができる状態にしておくこと）及び時間的な余裕をもって避難することが可能となる。

(2) 津波検知手段について

a. 敷地への津波の襲来の検知

津波監視設備のうち、敷地への津波の襲来を検知する手段としては、GPS 波浪計、海洋レーダー、カメラによる海面観察等があり、それぞれ以下のような特徴がある。

GPS 波浪計は、設置位置での水位を精度良く測定することができるが、現在は設置場所が限られており、原子炉施設への津波襲来と津波規模の検知に用いるにはデータ点数が不十分であることが考えられる。

海洋レーダーは沿岸数十キロ範囲の流速の分布を精度良く測定することができるが、現状では水位を測定することができないため、原子炉施設に襲来する津波規模の検知には適さない。

カメラによる海面観察は、撮影範囲におけるおおよその水位を観察することができるが、原子炉施設に津波が襲来する直前の津波観察（検知）に限定され、夜間の監視は困難である。

また、原子炉施設外からの情報による津波検知手段として、気象庁の津波情報を用いることが考えられる。気象庁の津波予測システムは最初に発生した地震の位置と規模を求め、次に地震の位置と規模に基づき津波予報データベースを検索することにより津波の高さと襲来時刻を推定している。ここで、津波予報データベースとは、予め津波を発生させる可能性のある断層を設定して津波の数値シミュレーションを行い、

その結果をデータベースとして蓄積したものである。気象庁の津波予測システムは全国の沿岸をいくつかの予報区に分けて予測値を発表するシステムであり、原子炉施設に襲来する津波の規模と襲来時刻を精度良く予測・検知するためのシステムとはなっていない。

上記の津波検知手段の特徴を踏まえ、原子炉施設において津波監視設備等の情報に基づき運転管理を行う場合には、複数の津波検知手段に基づく情報を用いて、総合的な判断を行うことが有効である。

b. 潮位及び取水ピット水位の低下の検知

津波監視設備のうち、潮位及び取水ピットの水位低下を検知する手段としては、ページ式水位計、超音波式水位計などの既往の検知手段があり、複数の検出器を用いて海水冷却系の停止の自動化などの設計を行うことも可能である。

8.1.2 津波監視設備の設計方針

津波監視設備は、耐津波 S クラス施設の機能への影響が想定されるような津波及びその発生要因となる地震により生じる地震動に対して、その機能が維持できるように設計する。

【解 説】

津波監視設備は、その設置目的に照らして、耐津波 S クラス施設の機能への影響が想定されるような津波が襲来した際に、その津波監視機能が維持されている必要があるため、本規程では、当該の津波及びその津波の発生要因となる地震により生じる地震動を考慮して設計することを求めている。その設計条件の設定にあたっては、津波ハザードを参照する等の手段が考えられる。

8.2 運転管理

8.2.1 津波防護施設及び浸水防止設備の機能維持

津波防護施設，浸水防止設備のうち，津波防護機能又は浸水防止機能が運用に依存する施設・設備は，津波襲来時にその機能が発揮できる状態に維持されるよう，適切な措置を講じる。

また，津波防護施設，浸水防止設備の周辺に一時的に持ち込む物品（工事用資機材，車両等）について，津波襲来時に同施設，設備に波及的影響を及ぼすことがないよう，適切な措置を講じる。

【解 説】

(1) 津波防護機能，浸水防止機能の維持について

津波防護施設及び浸水防止設備は，津波襲来時に機能できる必要がある。このため本規程では，水密扉，ハッチ等，津波防護機能若しくは浸水防止機能が状態に依存するような施設又は設備について，津波襲来時にその機能が十分発揮できる状態に維持できるように措置を講じることを求めている。

ここで，適切な措置としては，施設又は設備の状態を監視する機能を備えること，その監視機能の運用も含めて手順を定めることなどが挙げられる。

(2) 波及的影響の防止について

津波防護施設，浸水防止設備の周辺に一時的に持ち込む物品（工事用資機材，車両等）については，津波襲来時に漂流物となり周囲の設備に衝突するおそれ，又は内包する可燃物が流出し火災を発生させるおそれがあり，周囲の津波防護施設及び浸水防止設備に波及的影響を与える可能性がある。漂流物又は津波随伴火災に対する設計方針については，「1.2.5.3 津波随伴事象に対する設計方針」に示しているが，一時的に持ち込む物品に関しては設計段階における想定に不確定性を有することから，本規程では特に，これらによる波及的影響の防止を求めている。

ここで，適切な措置としては，持ち込みの極少化，係留，防護柵の設置等が挙げられる。

8.2.2 津波検知時の運転管理

耐津波 S クラス施設の機能への影響が想定されるような津波の襲来が検知された際には、津波監視設備による情報等を総合的に判断し、必要に応じて原子炉を停止するなどの手順を予め整備する。

【解 説】

耐津波 S クラスの施設の機能に影響を与える可能性がある津波の襲来が検知された場合は、原子炉を早期に冷温停止し、安定冷却を維持する観点から、津波襲来前に原子炉を停止することが考えられる。

ここで、津波防護施設及び浸水防止設備の設計余裕等により基準津波 T_s を超えても一定の津波規模まで耐津波 S クラス施設の機能維持が可能である場合には、この余裕を考慮した上で原子炉の停止を判断する津波規模を設定することが考えられる。

一方、基準津波 T_s 以下の津波に対しては耐津波 S クラスの施設は機能維持できるように設計されるため、基準津波 T_s に対しては必ずしも原子炉を停止する必要はないと考えられるが、津波検知の精度を勘案して、保守的な判断をすることも考えられる。

本規程では、津波が検知された際の対応について、以上に示すような個々の原子炉施設の状況等に応じて、予め整備しておくことを求めている。