

第 6 章 「津波の作用」構成案

- 6.1 はじめに【越村】
- 6.2 津波の起因事象，発生メカニズムの整理 【松山・越村】
- 6.3 津波の伝播・遡上とその評価 【越村・藤間】
- 6.4 津波ハザードの確率論的考え方 【杉野・松山・越村】
- 6.5 津波による地形変化と津波堆積物 【高橋・西村】
- 6.6 構造物等への津波の作用力 【有川・庄司・中埜】
- 6.7 津波の来襲に伴う被害の連鎖・複合性 【越村・岩渕】
- 6.8 まとめ【越村】

執筆予定者（五十音順，敬称略）

有川太郎（港湾空港技術研究所）
岩渕洋子（原子力安全基盤機構）
越村俊一（東北大学災害科学国際研究所）
庄司 学（筑波大学）
杉野英治（原子力安全基盤機構）
高橋智幸（関西大学）
中埜良昭（東京大学生産技術研究所）
西村裕一（北海道大学）
藤間功司（防衛大学校）
松山正史（電力中央研究所）

第 6 章の趣旨

原子力発電所への津波の危険性を考慮する際に留意すべき津波の外力作用について，津波の物理，既往イベントにおける事例，2011 年東北地方太平洋沖地震津波災害を踏まえた知見をまとめる。

6.2 津波の起回事象，発生メカニズムの整理【松山・越村】

概要：津波発生の起因となる事象について整理し，それぞれの事象におけるモデル化の現状，適用事例，適用限界等について論ずる。

6.2.1 津波の起回事象

・地震，火山関連，隕石，その他（原因の地震 90%，火山 6.4%，地すべり 3.3%；今村・李，1998）

6.2.2 津波の発生メカニズム

- ・海底面の隆起・沈降（地震，カルデラの陥没や沈降）
- ・固体・流体の海面突入，海中移動（山体崩壊や火砕流，火山泥流，溶岩の海域突入，剛体的地すべり，土石流，密度流）
- ・急激な体積変化（海中噴火，爆発による大気波，衝撃波等）

6.2.3 モデル化

- ・海底面の隆起・沈降（地殻変動量分布の推計，動的パラメータ）
- ・固体・流体の海面突入，海中移動

参考資料

- 1) 津波の事典，首藤伸夫，今村文彦，越村俊一，佐竹健治，松富英夫，朝倉書店，350p., 2007
- 2) 原子力規制委員会，基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド(案)
<http://www.nsr.go.jp/committee/youshikisya/shin_taishinkijyun/data/0013_05.pdf>
- 3) 地震以外要因の研究事例
日本：1792年島原眉山崩壊，1640北海道駒ヶ岳噴火津波，1741渡島大島山体崩壊津波
1883 Indonesia Krakatau，1958アメリカ Lituya Bay，1994 Skagway，北海ノルウェー沖海底地すべり（古代），アカホヤ噴火（古代），1998 Papua New Guinea（地震・海底地滑りの複合の可能性）

6.3 津波の伝播・遡上とその評価【越村・藤間】

概要：津波発生後の伝播，遡上現象で防災上留意すべき事象およびその評価方法と，それぞれの事象における予測モデルの現状，適用事例，適用限界等について論ずる。

6.3.1 遠地津波と近地津波の特徴

6.3.2 外洋を伝播する津波（遠地津波）

津波の外洋伝播の特徴

波数分散性

エネルギーの指向性

コリオリ力

津波の散乱・屈折

津波の導波現象（海嶺，海山，陸棚）

6.3.3 浅海の津波

津波の浅水変形と波高増幅

津波予測の理論と支配方程式

海底摩擦

津波の屈折と回折

境界波（エッジ波，海底地形による捕捉波）

6.3.4 沿岸の津波

津波増幅の非線形現象と砕波

砕波段波，波状段波，エッジボア

6.3.5 港湾内の津波

共振現象

6.3.6 陸上の津波遡上

津波の陸上遡上過程

津波氾濫流の流速および津波力

抵抗則

6.3.7 津波の河川遡上

波状段波（ソリトン分裂），砕波段波，

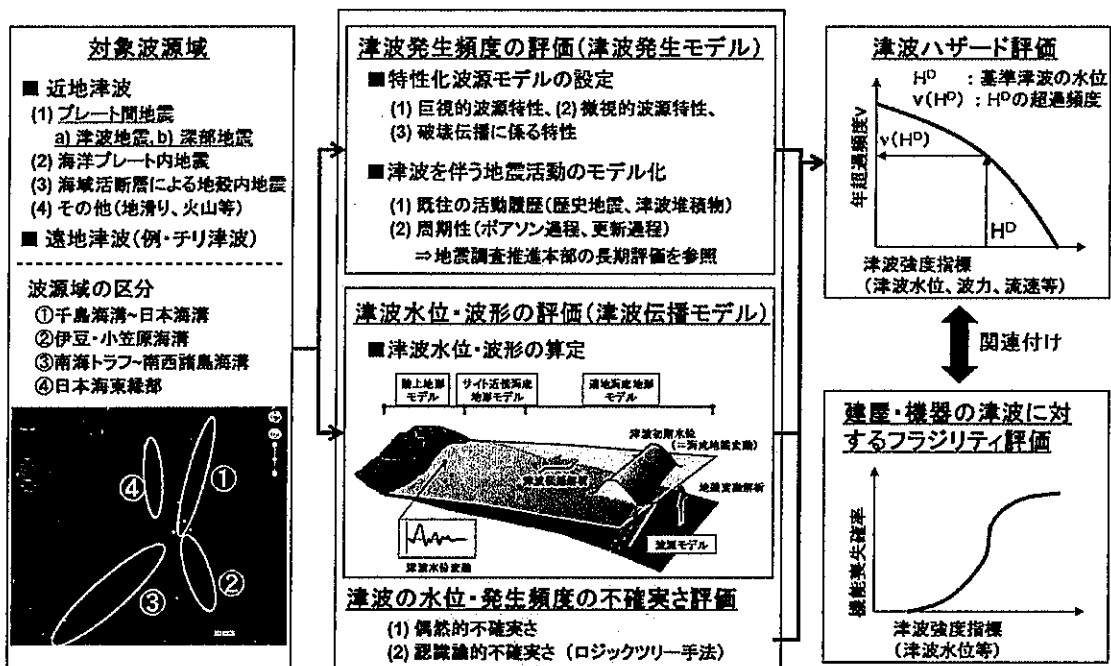
6.4 津波ハザードの確率論的考え方 【杉野・松山・越村】

6.4.1 津波ハザード評価の手順

- ✓ 津波発生要因（近地津波、遠地津波）
- ✓ 津波発生頻度の評価（津波発生モデル（波源モデル、地震活動モデル））【6.2 に関連】

津波水位・波形の評価（津波初期水位・伝播モデル）【6.3 に関連】

- ✓ 津波発生頻度・水位評価に係る不確かさ評価
- ✓ 津波ハザード曲線の算定



6.4.2 津波ハザード評価における不確かさの取扱い

- ✓ 偶然的な不確かさと認識論的な不確かさ
- ✓ 津波波源のモデル化に係る不確かさの要因とその取扱い【6.2 に関連】
 （東北地方太平洋沖地震津波の知見・教訓の反映、既往最大ベースからの脱却、不均一すべりの考慮、破壊伝播の考慮）
- ✓ 津波初期水位・伝播のモデル化に係る不確かさの要因とその取扱い【6.3 に関連】
 （計算水位（中央値）と確率分布、相田の幾何標準偏差と対数標準偏差、エルゴード性）

6.4.3 津波フラジリティ評価との関連付け

- ✓ 構造物・機器ごとの機能損傷モードに対応する津波作用【6.6, 6.7 に関連】
- ✓ 沖の最大水位で定義されたハザード情報に基づく模擬津波波形による遡上解析【6.6, 6.7 に関連】

(ハザードレベルに応じた水位、波長、東北地震で観測された長周期成分と短周期成分の重ね合わせの特徴等を考慮した模擬津波波形)

6.5 津波による地形変化と津波堆積物 【高橋・西村】

6.5.1 津波による土砂移動と地形変化

既往津波による土砂移動とそれに伴う地形変化の事例をレビューし、原子力発電所で想定される被害（堆積による取水口閉塞、洗掘による構造物倒壊など）を検討する。また、上記の被害の予測や軽減方法について検討する。

- 6.5 津波による地形変化と津波堆積物
- 6.5.1 津波による土砂移動と地形変化
- ・既往津波による土砂移動と地形変化の事例(図1)
- ・原子力発電所で想定される被害(図2)
- ・被害の予測や軽減方法(図3)

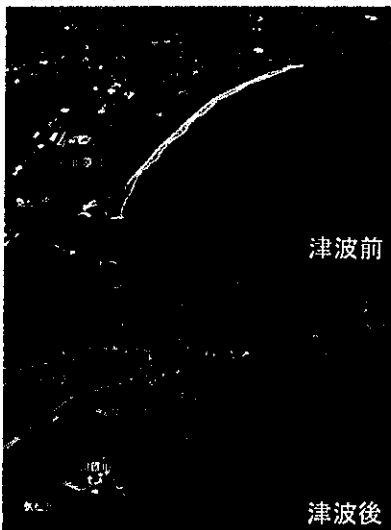


図1 東北津波による陸前高田沿岸部での地形変化(国土交通省, 2011)

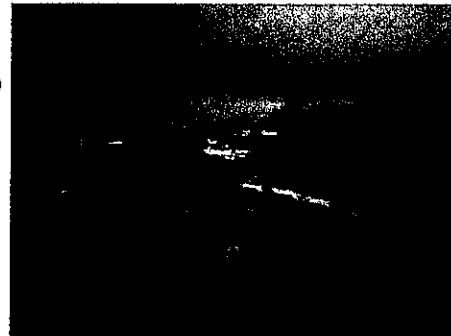


図2 東北津波による石巻港の洗掘(国土交通省, 2011)

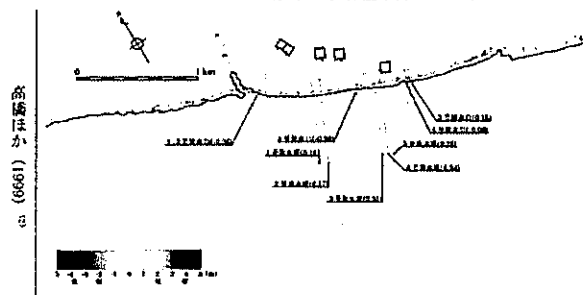


図3 浜岡原発における津波による土砂移動の予測計算(中部電力, 2007)

6.5.2 津波堆積物

(1) 津波堆積物はなぜ重要か

a) 津波と津波堆積物：津波堆積物は地表に残された津波の物証であり、地層中に保存されて過去の津波の情報ももたらす（2004年インド洋津波や2011年東北津波の例）。

b) 津波堆積物による津波ハザードと地震ハザードの評価：津波堆積物の分布や産状から津波の規模が評価できる。また津波堆積物が広域に対比されればソースである地震の評価も可能となる。

(2) 地表に形成される津波堆積物の特徴

津波の挙動と地表の堆積・侵食の特徴をまとめる。津波堆積物の粒径サイズ（泥から巨礫）、分布、構成物、堆積構造。

(3) 古津波の堆積物

a) 津波堆積物の認定基準：一般的に使われている認定基準（他起源の堆積物との違い），その限界をまとめる．

b) 津波堆積物の「化石化」：津波堆積物は地表に形成されてから地層になるまでに変化する．人工擾乱の他，自然作用でも構成物の風化，生物擾乱，侵食や再堆積が起きる．

(4) 古津波堆積物の調査方法

a) 地形や環境による様々な調査方法と得られる情報：大規模トレンチ掘削，ピット調査，コア抜き取り調査など．

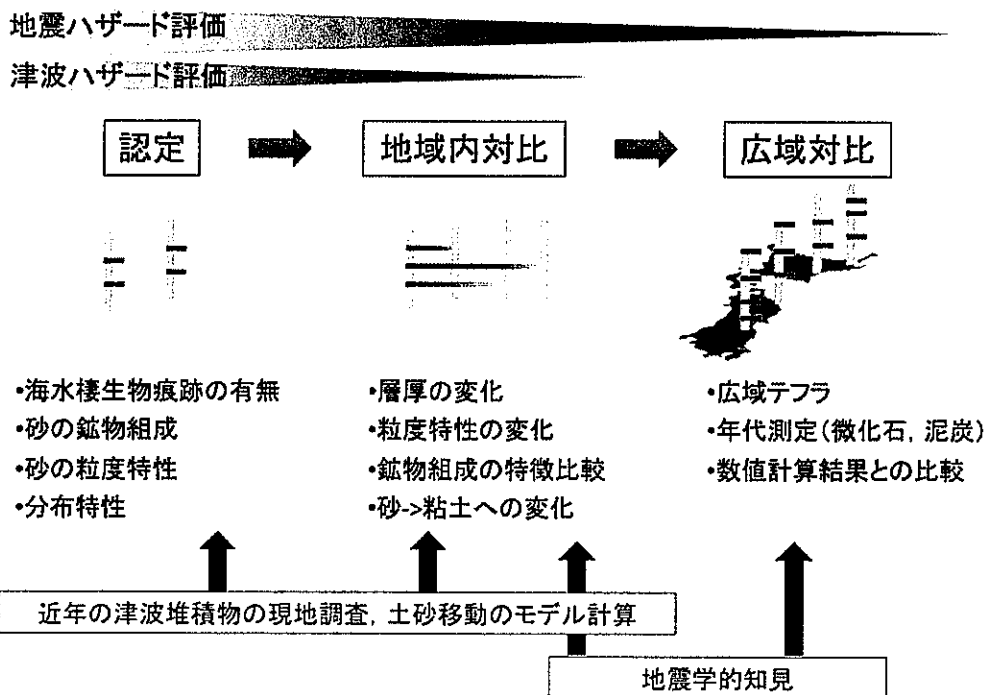
b) 年代推定：津波堆積物堆積物の形成年代を推定するための手順とその限界

c) 津波の規模の推定：津波堆積物の分布や堆積構造から津波の規模を推定する手順

(5) 津波堆積物を用いた原子力施設における津波ハザードの評価

敷地内や近傍で津波堆積物が見つからなくても，津波がなかったとは言えない．津波堆積物が形成されなかった，形成されたがその後に侵食された，調査が不十分などのケースもある．周囲の条件がいい場所で探し，対比を行い，ソースとなった地震を評価して津波を計算する，という手順も必要．

津波堆積物の調査研究と地震／津波ハザード評価



6.6 構造物等への津波の波力【中埜・庄司・有川】

原子力発電所の施設に類する構造物への波力式を整理する。ただし、「特別な研究成果がある場合はこれによって良い。」というルートも残せるようにしておくことは忘れないようにし、そこに配慮した記載ぶりにする。

6.6.1 防波堤・防潮壁・堤防（有川）

防波堤や防潮壁に作用する津波の波力式についてレビューする。

(1) 防波堤

港湾局の防波堤ガイドラインの要点を述べる。

<http://www.mlit.go.jp/common/000235379.pdf>

内容としては、波力としての防波堤の設計式と越流したときの設計式を記載する。

(2) 防潮壁

ここは、未だ研究途中であり、既往式を記載するにとどめ、最新の知見を参考として盛り込む形としたい。

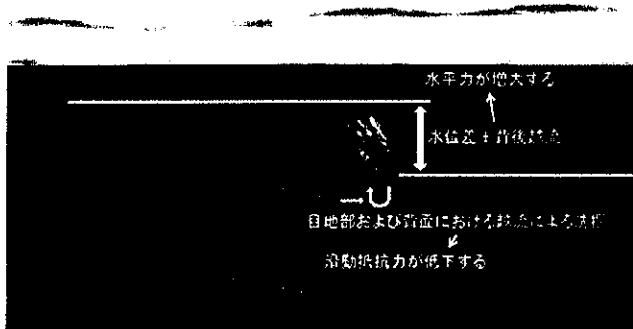
(3) 堤防（盛土）

国総研海岸研究室の成果をヒアリングおよびまとめ

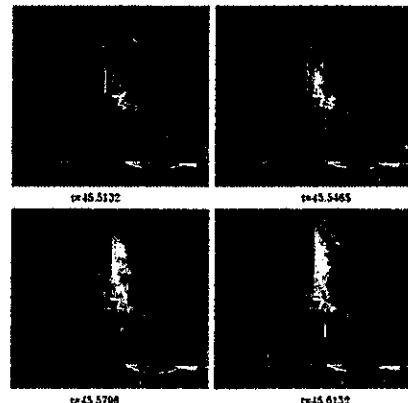
<http://www.nilim.go.jp/lab/fcg/lab0/02.html>

防波堤

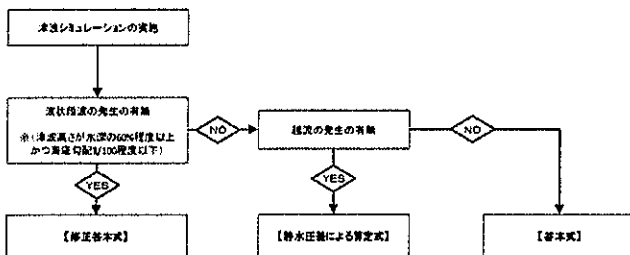
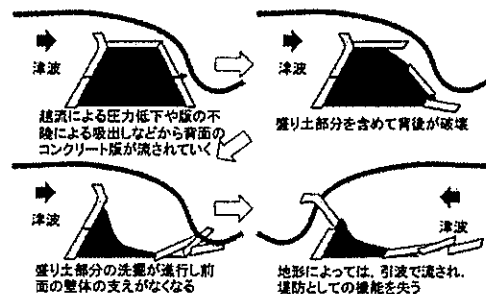
津波越流時における外力



防潮壁



堤防



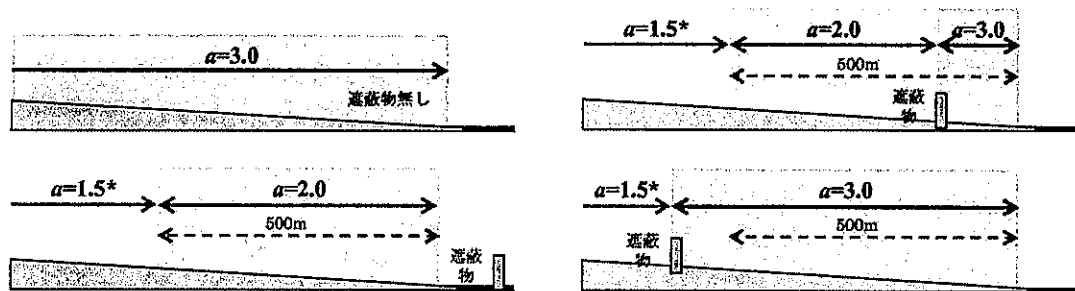
防潮堤・防潮壁・堤防に作用する津波力と被災過程

6.6.2 建物（中壱，有川）

背後の施設に作用する津波の波力式について紹介する。建築学会で行っている津波荷重ワーキングの成果のエッセンスを盛り込む。

- (1) 波力式
- (2) 地下
- (3) 内部へ浸水した場合の波力の考え方

海岸や河川等からの距離	遮蔽物有り		遮蔽物無し
	500m以遠	500m未満	距離によらず
水深係数 a^* の設定案	1.5	2	3



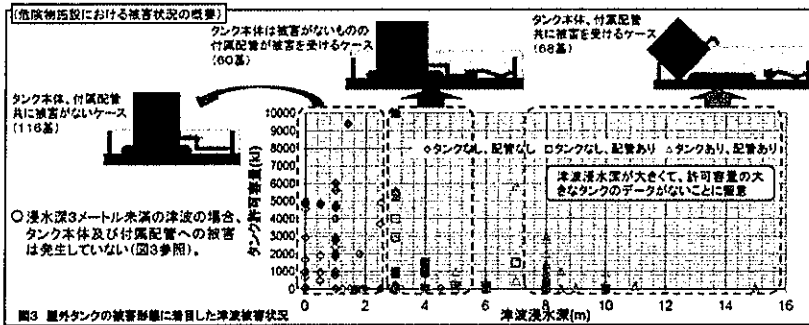
遮蔽物の有無による津波力の評価

11/17/2011 に中間報告書その2 とともに津波避難施設等の構造上の要件に係る暫定指針を公表 (http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000274.html)

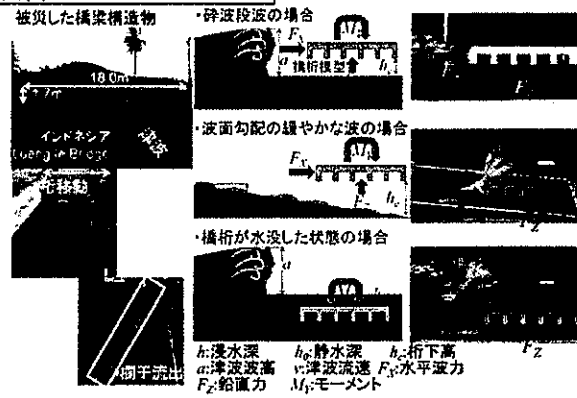
6.6.3 その他構造物（庄司，有川）

タンク，配管等，施設に関わる構造物を整理し，その構造物への波力の最新の知見を整理する。

- (1) タンク，配管
- (2) 橋等，空中にある構造物
- (3) その他構造物



橋桁に作用する津波波力のメカニズム



構造物への津波荷重の算定法の検討

参考：東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討会
http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h23/2312/231222_1houdou/02_houdoushiryoku.pdf

6.7 津波の来襲に伴う被害の連鎖・複合性【越村，岩淵】

■津波に起因する複合被害（下記の連鎖により被害拡大・長期化（復旧の妨げ））

地震動，地盤沈下後の津波来襲
漂流物流動，衝突
石油タンクの損傷，移動
浸水域での発火（配電盤，電線のショート）
津波による火災の拡大
瓦礫散乱による復旧の妨げ
防潮堤の洗掘，ボイリング，地盤災害
防潮堤の転倒・損傷
海底土砂移動・堆積による港湾設備、取水口の閉塞

■津波複合被害の事例

1964 アラスカ（沿岸地すべり，津波来襲，石油タンク損傷，油拡散，大規模広域火災，市街地延焼）
1964 新潟（地震によるタンク配管損傷、浸水による化学反応，液状化，津波来襲，油火災）
1993 奥尻（地震，津波，火災，交通渋滞発生）
2011 福島第一 NPP（津波漂流瓦礫による外部からのアクセス不能，補給路の断絶）
2011 女川市街地（地震，液状化，津波浮力による基礎支持力低下，建物流失）
2011 気仙沼（油拡散，広域火災）

■発電所の取水機能の低下

取水トンネルを介したサイト内の溢水
引き波による取水機能の低下

■その他

発電所へのアクセス性（交通網，インフラ機能）低下
補給路の断絶
電源喪失による被害進展，加速
指揮命令，制御設備の機能低下
機械，電気系統の誤作動