

原子力発電所の津波評価技術2016

第6章 数値計算手法 ②

原子力土木委員会 津波評価小委員会 幹事
佐藤嘉則 (ユニック)
藤井直樹 (東電設計)

第6章「数値計算手法」 目次

- 6.1 津波伝播・遡上計算（一部修正、追記）
- 6.2 海底での地すべり，斜面崩壊，山体崩壊等に起因する津波の計算（新規）
- 6.3 取放水設備の水位変動計算（新規）
- 6.4 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルの策定（新規）
- 6.5 波力評価（新規）
- 6.6 砂移動計算（新規）
- 6.7 漂流物評価（新規）

「6.3 取放水設備の水位変動計算」の構成

- 6.3.1 基本的な考え方
 - (1) 計算の目的
 - (2) 数値計算手法の選定
 - (3) 取放水設備のモデル化と数値計算の実施
- 6.3.2 数値計算手法の選定
 - 6.3.2.1 水路部分の計算手法
 - (1) 全区間が常時管路流れの場合
 - (2) 全区間が常時開水路流れの場合
 - (3) 開水路流れの区間と管路流れの区間が共存する場合
 - 6.3.2.2 取放水水槽や立坑部分の計算手法
- 6.3.3 取放水設備のモデル化と数値計算の実施
 - (1) 取放水設備のモデル化
 - (2) 水路の摩擦損失および形状損失の考慮
 - (3) 越流堰等の構造物の取り扱い
 - (4) 取放水流量，潮位条件等を考慮した水位変動計算の実施
 - (5) 取放水設備からの溢水を考慮した敷地への浸水解析

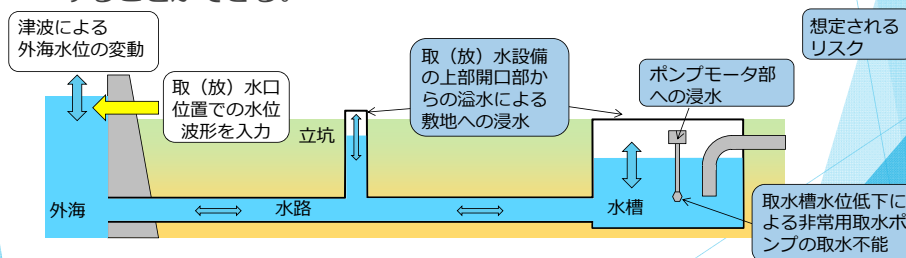
「6.3 取放水設備の水位変動計算」

本編 p.101-p.102

6.3.1 基本的な考え方

1) 計算の目的

- ▶ 取放水設備に関連したリスク（設備からの溢水による敷地への浸水、ポンプモーター部への浸水、ポンプ取水不能等）に対して、取放水設備の水位変動計算を実施し、設備内の水位の挙動を把握する。
- ▶ 設備内での水位変動が増幅しないことが明らかな場合は、計算を省略することができる。



取放水設備に関連したリスクと水位変動計算の概要

「6.3 取放水設備の水位変動計算」

本編 p.101-p.102

6.3.1 基本的な考え方

2) 数値計算手法の選定

- ▶ 取放水口位置での水位波形を境界条件（入力波形）として使用。
- ▶ 取放水路内の流れは、水路に沿った一次元流れとして取り扱うことができ、開水路流れや管路流れといった流況を精度よく計算可能な手法を適用。

3) 取放水設備のモデル化と数値計算の実施

- ▶ 入力波形に設備の固有周期程度の成分が含まれていると、取放水槽等の水位変動が増幅される場合があり、設備形状を精度よくモデル化することが重要。
- ▶ 設備の構造図面等に基づき水路や水槽の形状等を設定するとともに、水路の摩擦損失や形状損失（屈折・曲がり等）、設備内構造物（スクリーン、越流堰等）の適切な設定が必要。

5

「6.3 取放水設備の水位変動計算」

本編 p.103-p.104

6.3.2 数値計算手法の選定

取放水設備の水位変動計算手法

(1)水路部分の計算

- (a)全区間が**常時管路流れ**の場合：管路流れの一次元不定流モデル
- (b)全区間が**常時開水路流れ**の場合：
 - ①開水路流れの一次元不定流モデル ②平面二次元モデル
- (c)開水路流れの区間と管路流れの区間が**共存する場合**：
 - ①スロットモデル ②開水路区間と管路区間を分離する計算手法

(2)取放水槽や立坑の計算

- ①水槽内の水容積変化のみを考慮したモデルによる計算手法
- ②一次元水路モデルによる計算手法
- ③平面二次元モデルによる計算手法
- ④三次元モデルによる計算手法

いずれの計算手法も水路部分との連成問題として取り扱う必要がある

6

「6.3 取放水設備の水位変動計算」

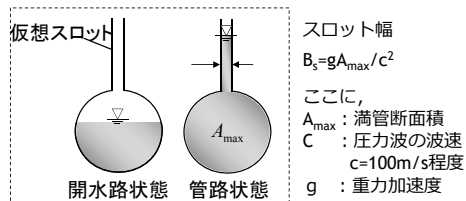
本編 p.103-p.104

6.3.2 数値計算手法の選定

開水路流れの区間と管路流れの区間が共存する場合の水路計算手法

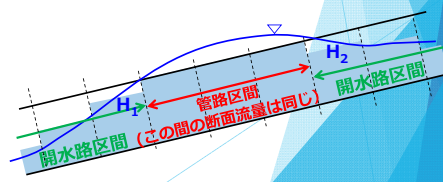
①スロットモデルによる計算

管の上部に仮想スロットを設定することにより、**管路区間も開水路流れとして取り扱うことができる。**したがって、開水路区間と管路区間を区別する必要がなくなり、全区間で開水路の一次元不定流の式を適用する手法である。スロット幅は、満管断面積と圧力波の波速(100m/s程度)によって設定される。



②開水路区間と管路区間を分離する計算手法

微小区間に分割した水路の各部分が、**開水路状態か管路状態かを逐次判定し**、管路区間はその上下流端の開水路区間の水位（自由水面の水位）を境界条件として、管路区間の流量計算を行う（管路区間では圧力波の波速を無限大と仮定する）。開水路区間は、開水路の一次元不定流の式を適用する。



7

「6.3 取放水設備の水位変動計算」

付属編 p.4-104

6.3.2 数値計算手法の選定

基礎方程式

水路モデルの基礎方程式

<開水路流れ> 「①スロットモデル」と「②開水路管路分離モデルの開水路区間」

洪水流等に用いられる不定流の基礎方程式

- a) 連続式
$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$
- b) 運動方程式
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} + \frac{1}{L} f \frac{|v| v}{2g} \right) = 0 \quad (2)$$

<管路流れ> 「②開水路管路分離モデルの管路区間」

式(1)の左辺第1項、式(2)の左辺第2項を0と仮定

- a) 連続式
$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3)$$
- b) 運動方程式
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} + \frac{1}{L} f \frac{|v| v}{2g} \right) = 0 \quad (4)$$

池モデル（立坑・水槽など）の基礎方程式 「①水槽内の水容積変化のみを考慮したモデルによる計算手法」の場合

$$A_p \frac{dH_p}{dt} = Q_s \quad (5)$$

t : 時間, Q : 流量, v : 流速,
 R : 径深
 x : 管底に沿った座標, z : 管底高
 H : 圧力水頭+位置水頭（管路の場合）
 位置水頭（開水路の場合）
 n : マニングの粗度係数
 A : 流水断面積, g : 重力加速度
 L : 管路の流れ方向の長さ
 f : 局所損失係数
 A_p : 水槽平面積, H_p : 水槽水位
 Q_s : 水槽へ流入する流量の総和

8

「6.3 取放水設備の水位変動計算」

本編 p.105-p.106

6.3.3 取放水設備のモデル化と数値計算の実施

①モデル化に必要となる構造諸元

- 水路部：水路底高、水路勾配、水路長、水路断面形状（高さ、幅等）
- 水槽部：湛水工リアの断面形状（高さ、幅等）、高さ別の水面面積または水容積、水槽上部からの溢水高さ

取放水設備内の水位変動の大小に密接に関わってくるものが取放水設備の水理応答特性（固有周期）である。外海の津波による卓越周期と固有周期が同程度の場合は、設備内の水位変動が増幅される場合がある。

→ 設備の構造図面等に基づいた適切なモデル化が非常に重要となる。

設備の固有周期の式（単一水路と水槽の単純構造の場合）

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{Al}{ga}}$$

ここに、T：固有周期(sec)，A：水槽平面積(m²)，a：満管断面積(m²)
l：満管区間の水路長(m)，g：重力加速度(m/s²)，π：円周率

電力土木技術協会編(1995)より

②水路の摩擦損失および形状損失の考慮

- 水路の摩擦損失の式（マンニング則）

$$h_f = n^2 \cdot V^2 \cdot \frac{L}{R^{4/3}}$$

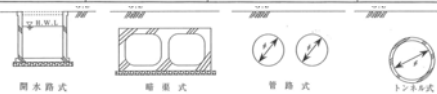
h_f ：摩擦損失水頭(m)，n：マンニングの粗度係数(m^{-1/3}s)

V：断面流速(m/s)，L：水路長(m)，R：径深(m)

- 曲がりや屈折等の形状損失

→電力土木技術協会編(1995) や土木学会編(1999)等に示される公式を適用し、モデル化に反映。

取水路の形式	断面流速	貝等の付着代	粗度係数
暗渠	0.8~2.2m/s	0~20cm (0.5, 10cmが多い)	0.014~0.027 (0.015, 0.020が多い)
管路	2.0~3.6m/s	0~10cm	0.015~0.018



9

「6.3 取放水設備の水位変動計算」

本編 p.107

6.3.3 取放水設備のモデル化と数値計算の実施

③越流堰等の水理構造物の取り扱い

→越流堰やゲート等の水理構造物を有する場合には、これらの水理特性をモデル化に含めた数値計算が必要。

④取放水流量、潮位条件等を考慮した水位変動計算の実施

- 取放水流量

→津波到達前の初期水位や水理応答特性に影響を及ぼす可能性がある。

- 潮位条件

→潮位によって設備内の水面高さが変化し、水理応答特性が変化する可能性があるため、取放水口の津波波形に潮位を考慮した計算が必要。

- 地殻変動量

→地殻変動の考慮に当たっては、対象設備に対して安全側の評価となるようにする等、評価方法に応じて適切な方法の選択が必要。

⑤取放水設備からの溢水を考慮した敷地への浸水解析

→敷地を含めた平面二次元モデル上の溢水箇所、取放水設備の水位変動計算で求まる溢水量を流量境界条件として付加（排水も考慮する場合は連成問題となる）。

10

「6.3 取放水設備の水位変動計算」

付属編 p.4-105
~p.4-106

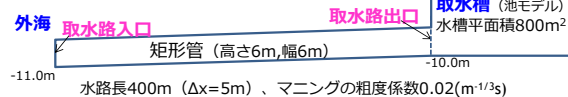
付属編4.7.2 例示計算条件

取放水設備構造モデル

以下の文字色は時系列グラフ表示地点を示す
・水位表示地点、流量表示地点

モデルA

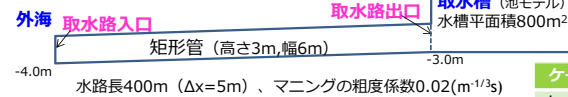
満管時の固有周期：189秒（約3分）



モデルB

（モデルAの管底高を7m上昇、管高さを3mに変更）

満管時の固有周期：268秒（約4.5分）



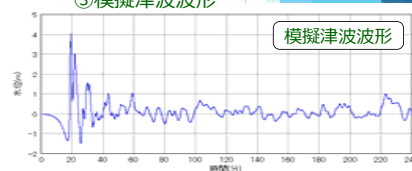
計算手法

- 水路部分：②開水路区間と管路区間を分離する計算手法
- 水槽部分：①水槽内の水容積変化のみを考慮したモデルによる計算手法

境界条件

- 外海水位データ（下記3種類）

- ①周期30秒、片振幅2mの正弦波
- ②周期20分、片振幅2mの正弦波
- ③模擬津波波形



その他計算条件

- ・計算時間間隔0.05秒
- ・ポンプ取水量ゼロ

ケース	構造モデル	外海水位データ	流況
ケース1	モデルA	正弦波（周期30秒）	常時管路流れ
ケース2	モデルA	正弦波（周期20分）	常時管路流れ
ケース3	モデルA	模擬津波波形	常時管路流れ
ケース4	モデルB	模擬津波波形	開水路管路混在流

9

「6.3 取放水設備の水位変動計算」

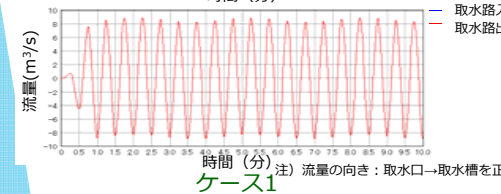
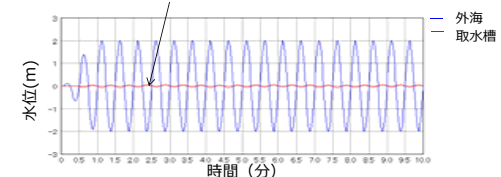
付属編 p.4-106
~p.4-107

付属編4.7.3 例示計算結果

ケース1、ケース2（モデルA、外海：正弦波）

- ・外海水位：①周期30秒、片振幅2mの正弦波

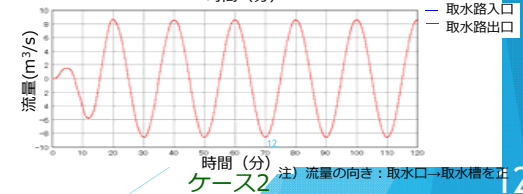
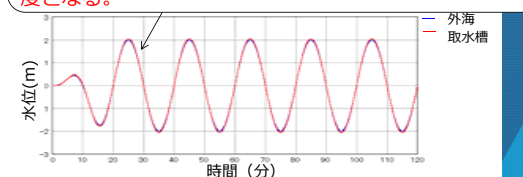
→設備の固有周期（=3分程度）よりも外海水位波形が短周期側となるほど、水槽の水位変動は小さくなる。



ケース1

- ・外海水位：②周期20分、片振幅2mの正弦波

→設備の固有周期（=3分程度）よりも外海水位波形が長周期になるほど、水槽の水位変動は外海水位と同程度となる。



ケース2

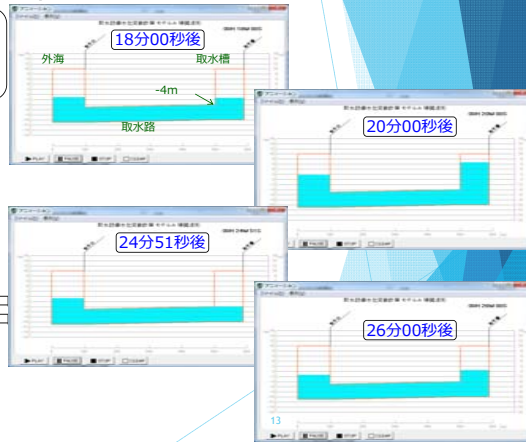
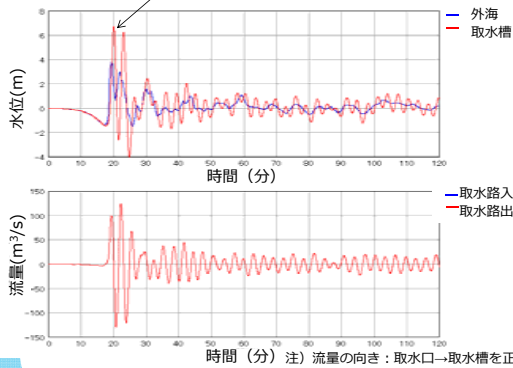
12

「6.3 取放水設備の水位変動計算」 付属編4.7.3 例示計算結果

ケース3 (モデルA、外海：模擬津波波形)

付属編 p.4-106
~p.4-107

- ・外海水位：模擬津波波形
- 外海水位に含まれる周期3分程度 (=設備の固有周期)の成分が水槽側で増幅される。



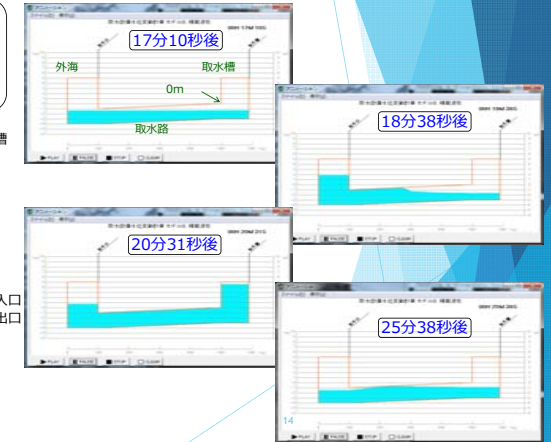
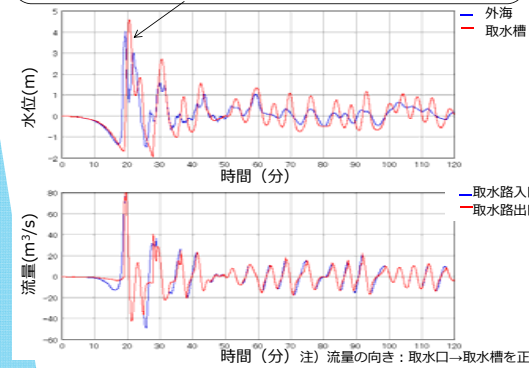
13

「6.3 取放水設備の水位変動計算」 付属編4.7.3 例示計算結果

ケース4 (モデルB、外海：模擬津波波形)

付属編 p.4-106
~p.4-107

- ・外海水位：模擬津波波形
- 初期の引き波によって全区間が開水路状態となり、その後の急激な押し波によって管路内に段波が形成され、一気に満管状態となる。



14

「6.4 既往津波の痕跡高を説明できる 断層モデルの策定」の構成

6.4.1 計算モデルの適合度の評価

- (1) 評価基準
- (2) 地形再現の必要性
- (3) 痕跡地点と対比する計算遡上高の選択方法
- (4) 留意事項

6.4.2 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルの策定

- (1) 一般
- (2) 文献で提案されている断層モデル
- (3) 津波インバージョン解析による断層モデルの策定
 - ① 非線形インバージョン手法
 - ② 線形インバージョン解析
 - ③ 浅水変形効果を考慮した線形インバージョン解析

15

6.4.1 計算モデルの適合度の評価

本編 p.108-p.109

(1) 評価基準

- ▶ 相田(1977)による幾何平均Kおよび幾何標準偏差κ

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log K_i \quad K_i = R_i / H_i \quad n : \text{地点数}$$

$$\log \kappa = \left[\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - n (\log K)^2 \right\} \right]^{1/2} \quad R_i : i\text{番目の地点での痕跡高}$$

$$H_i : i\text{番目の地点での計算値}$$

(2) 地形再現の必要性

- ▶ 津波痕跡地点周辺の地形は、可能な限り津波発生時の実地形を反映したモデル。
- ▶ 海岸付近の地形の変貌や、港湾・漁港の整備状況等を調査し、津波発生時の地形条件の設定を行うことが望ましい。

(3) 痕跡地点と対比する計算遡上高の選択方法

- ▶ 計算遡上高は痕跡地点の含まれる格子付近の値を用いることが原則。ただし、計算における津波遡上範囲が痕跡地点にまで及ばなかった場合やモデル化における地形表現上の制約がある場合、痕跡地点に近い計算遡上高で代用させてもよい。
- ▶ 遡上計算を実施していない場合においては、想定される痕跡地点への進入経路となる海岸線の格子周辺の値を用いる。また、痕跡高のデータ分布数に地域的な偏りがあり総合的な再現性が得られないと考えられる場合、これらの影響を排除する工夫を施すことが望ましい。

16

6.4.1 計算モデルの適合度の評価

本編 p.108-p.109

(4) 留意事項 (付属編4.8.1および4.8.2参照)

- ▶ 痕跡高の信頼性が疑わしいものについては、出典等に立ち戻り痕跡高記録の精度の再検討を実施し、信頼性が低い場合には適合度の評価において除外することができる。
- ▶ なお、津波の周期と検潮儀の応答特性等によっては、検潮記録は痕跡高よりも小さくなることもある。痕跡高と検潮記録の系統的な違いについて十分留意が必要。
- ▶ 津波堆積物調査結果は過去の津波の最低限の高さもしくは遡上範囲の拡がりに係る情報であるため、計算結果はこれを上回る結果となっている必要がある。

Figure 8. of Kajiura, K. (1983) : Some statistics related to observed tsunami heights along the coast of Japan, Tsunamis-Their Science and Engineering, Iida, K. and T. Iwasaki (ed.), pp. 131-145.

検潮儀記録と遡上高の関係 (Kajiura, 1983)

津波痕跡高の信頼度の分類 (1960年チリ地震津波以降)

判断基準	
信頼度	A 信頼度大なるもの。痕跡明瞭にして、測量誤差最も小なるもの。
	B 信頼度中なるもの。痕跡不明につき聞き込みにより、周囲の状況から信頼ある水位を知るもの。測量誤差小。
	C 信頼度小なるもの。その他方法にて異常に波がはい上がったと思われるもの。あるいは測点が海辺より離れ測量誤差が大なるもの。
	D 信頼度極小なるもの。異常潮、台風などの影響で痕跡が重複し、不明瞭なもの。

日本の検潮井戸の構造 (Satake et al., 1988)



Figure 1. of Satake, K., M. Okada, Ku. Abe (1988) : Tide gauge response to tsunamis: Measurements at 40 tide gauge stations in Japan, Journal of Marine Research, Vol. 46, pp. 557-571. <http://www.ingentaconnect.com/content/jmr/jmr/1988/00000046/00000003/art00005?crawler=true>

17

6.4.2 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルの策定 (1)

本編 p.109-p.110

(1) 一般

- ▶ 広域のKおよびkについては、次の条件を目安とする (土木学会, 2002)。
 $0.95 < K < 1.05$
 $k < 1.45$
- ▶ 広域にわたる痕跡高分布の全体的傾向を説明できるようにすることが重要であるとともに、**評価地点周辺**で良好な再現性を持つことにも留意すべきである。

(2) 文献で提案されている断層モデル

- ▶ 断層モデル: 「佐藤編(1989): 日本の地震断層パラメータ・ハンドブック」
- ▶ 出典が古いものは、計算格子間隔が粗く精度の低い津波解析となっている場合もあるので、必要に応じて断層モデルのパラメータを修正。

18

6.4.2 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルの策定 (2)

本編 p.110-p.111

(3) 津波インバージョン解析による断層モデルの策定

既往津波に対する適切な断層モデルが提案されていない場合、津波インバージョン解析によって断層モデルを策定する方法が有効。

① 非線形インバージョン手法 (中央防災会議, 2003)

ガウス-ニュートン法による非線形モデルの線形近似反復法であり、数値計算モデルとして非線形長波理論を用いることができるが、計算時間が膨大となる。中央防災会議(2003)はこの手法を応用して使用。

② 線形インバージョン解析 (Satake, 1987)

数値計算モデルを線形長波理論とした線形インバージョン解析は、計算が高速であり容易に計算できるが、非線形性を考慮できない。

③ 浅水変形効果を考慮した線形インバージョン解析 (安中ほか, 1999)

浅水変形効果を除去した観測値を目標値として、グリーン関数を用いたインバージョン解析の繰り返りに、非線形長波理論による順解析を組み合わせて非線形効果を考慮した波源モデルとして収束させていく手法である。

19

6.4.2 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルの策定 (3)

本編 p.110-p.111

(3) 津波インバージョン解析による断層モデルの策定

- ▶ 津波インバージョン解析で推定するパラメータは、**すべり量**とするのが一般的である。走向、傾斜角、すべり角等はあらかじめ地震学的知見等に基づき設定しておき、想定される波源域を包絡する領域を複数の小断層に分割し、個々の**小断層のすべり量分布**をインバージョン解析によって求める。
- ▶ 津波インバージョン解析の再現対象には、**津波検潮記録**や**津波痕跡高**、**地殻変動記録**等が用いられ、これらの観測値と計算値との残差二乗和が最小となるような断層すべり量を最適解として求める。
- ▶ 東北地方太平洋沖地震の津波インバージョン解析では、十分な観測記録が得られていることもあり、断層面上の**破壊伝播**や**タイムラグ**を考慮した**インバージョン解析**を行った事例として、Satake et al.(2013)、杉野ほか(2013)、Takao et al.(2012)等が報告されている。

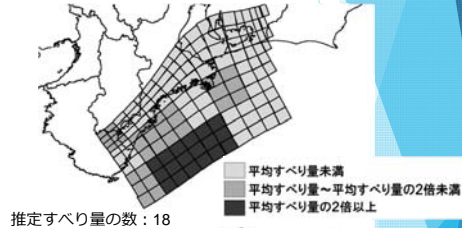
20

「6.4 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルの策定」

付属編4.8.3 津波インバージョン解析

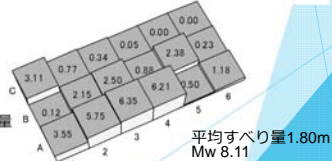
▶ 1944年東南海地震津波を対象としたインバージョン解析の事例

付属編 p.4-115



再現対象

- 津波痕跡高
- 検潮記録
- 鉛直地殻変動量



1944年東南海地震津波インバージョン結果によるすべり量分布

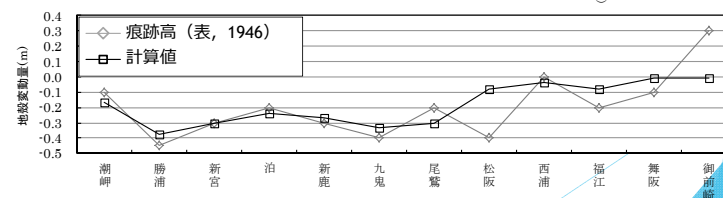
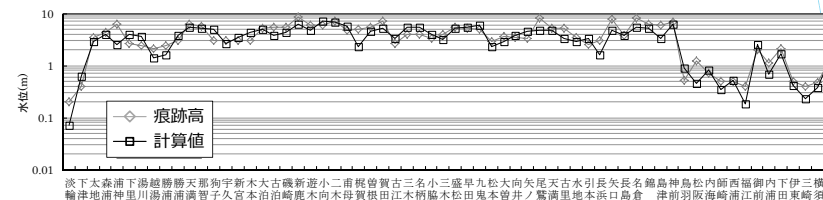
21

「6.4 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルの策定」

付属編4.8.3 津波インバージョン解析

▶ 再現結果

付属編 p.4-116



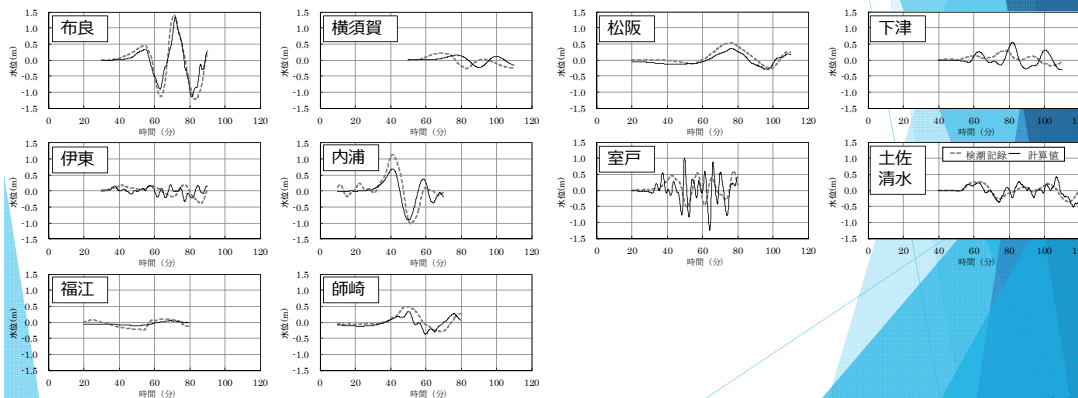
22

「6.4 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルの策定」

付属編4.8.3 津波インバージョン解析

▶ 再現結果

付属編 p.4-116



23

「6.5 波力評価」の構成

6.5.1 基本的考え方

6.5.2 波力の算定

- (1) 波力の算定に用いる水理量
- (2) 波圧の種類
- (3) ソリトン分裂の有無
- (4) 対象構造物の形状

6.5.3 波力評価式の特徴

6.5.3.1 海中構造物に作用する津波波力

- (1) 直立型の海中構造物に作用する津波波力評価式の分類
- (2) 傾斜型の海中構造物に作用する津波波力評価式の分類

6.5.3.2 陸上構造物に作用する津波波力

- (1) 陸上構造物に作用する津波波力評価式の分類
- (2) 遡上計算における対象構造物の有無と評価式の適用方法

24

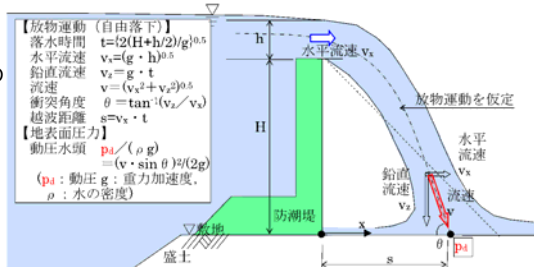
「6.5 波力評価」

本編 p.112

6.5.1 基本的考え方

- ▶ 防潮堤、建屋等に津波が到達する場合、その施設へ津波が及ぼす影響を把握するために、津波波力を適切に算定することが必要。
- ▶ 構造物の設置位置（海中、陸上）を踏まえたうえで、津波水位、浸水深、流速の時間変化等の情報に基づき、適切な評価式を用いて波力を算定。
- ▶ 既往の評価式の適用が困難と考えられる場合等には、水理模型実験や三次元数値解析を行うことがある。
- ▶ 構造物近傍の地盤に作用する波力の研究事例（レビュー編2.1）

大村ほか(2014)による
越流水の地表面圧力の
簡易計算



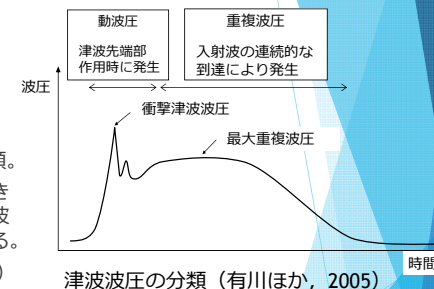
25

「6.5 波力評価」

6.5.2 波力の算定

本編 p.112-p.113

- (1) 波力の算定に用いる水理量
 - ▶ 水位（海中構造物の場合）もしくは浸水深（陸上構造物の場合）
 - ▶ 水位もしくは浸水深に加え、流速
- (2) 波圧の種類
 - ▶ 有川ほか(2005)は、直立壁に作用する津波波圧を分類。
 - ▶ 評価式には、時系列的に動波圧と重複波圧が評価できるもの、最大重複波圧のみを対象としているもの、波圧の種類に関係なく最大波圧を評価するもの等がある。
 - ▶ 傾斜型の構造物に作用する波圧の分類（付属編8.1.1）
- (3) ソリトン分裂の有無
 - ▶ ソリトン分裂の発生が予想される場合にはそれが考慮されている評価式を用いる。
- (4) 対象構造物の形状
 - ▶ 建屋のような三次元構造物と、防潮壁のような二次元構造物（線の構造物）に分類。



26

「6.5 波力評価」

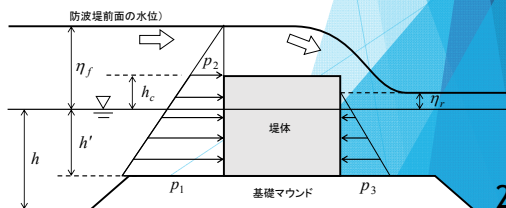
本編 p.114-p.116

6.5.3 波力評価式の特徴（1）

- ① 海中構造物に作用する津波波力
 - ▶ 直立型の海中構造物に作用する津波波力評価式（付属編8.1.1）
「防波堤の耐津波設計ガイドライン」（国土交通省，2013）
 - ▶ 傾斜型の海中構造物に作用する津波波力評価式（付属編8.1.2）
福井ほか(1962)，水谷・今村(2000)，水谷・今村(2002)
- ② 陸上構造物に作用する津波波力
 - ▶ 陸上構造物に作用する津波波力評価式の分類
 - ▶ 遡上計算における対象構造物の有無と評価式の適用方法

■ 波力評価式の妥当性確認事例 （付属編8.1.3）

国土交通省(2013)の評価式
（静水圧差による式）の考え方



27

「6.5 波力評価」

本編 p.114

6.5.3 波力評価式の特徴（2）

① 海中構造物に作用する津波波力

▶ 直立型の海中構造物に作用する津波波力評価式の分類

津波波力評価式	津波計算における対象構造物の有無	波力算定に用いる水理量	波圧の種類	ソリトン分裂の有無	対象構造物の形状	越流の有無
池野ほか(2005)	構造物あり	最大津波水位	衝撃津波波圧	分裂	二次元構造物	越流・非越流
谷本ほか(1984)	構造物あり	最大津波水位	衝撃津波波圧	非分裂	二次元構造物	非越流
国土交通省(2013)	構造物あり	最大水位差	最大重複波圧	非分裂	二次元構造物	越流

▶ 傾斜型の海中構造物に作用する津波波力評価式の分類

津波波力評価式	津波計算における対象構造物の有無	波力算定に用いる水理量	波圧の種類*	ソリトン分裂の有無	対象構造物の形状	越流の有無
福井ほか(1962) 水谷・今村(2000) 水谷・今村(2002)	構造物なし	入射波高・波速	段波波圧・衝撃段波波圧	非分裂	二次元構造物	非越流
水谷・今村(2000)	構造物なし	入射波高・波速	遡上波圧	非分裂	二次元構造物	非越流
水谷・今村(2000)	構造物なし	入射波高・波速	重複衝撃波圧・衝撃重複衝撃波圧	非分裂	二次元構造物	非越流
水谷・今村(2002)	構造物あり	天端最大流速	越流波圧・衝撃越流波圧	非分裂	二次元構造物	越流

*水谷・今村(2000)、
水谷・今村(2002)による分類

28

「6.5 波力評価」

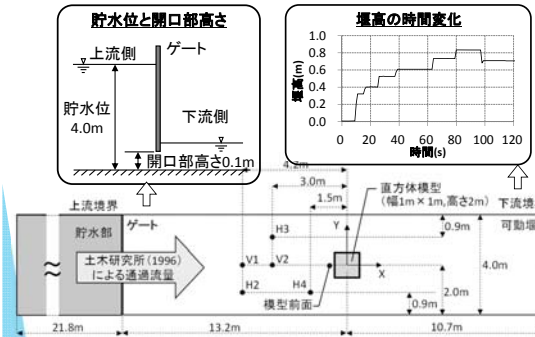
6.5.3 波力評価式の特徴 (3)

②陸上構造物に作用する津波波力の分類

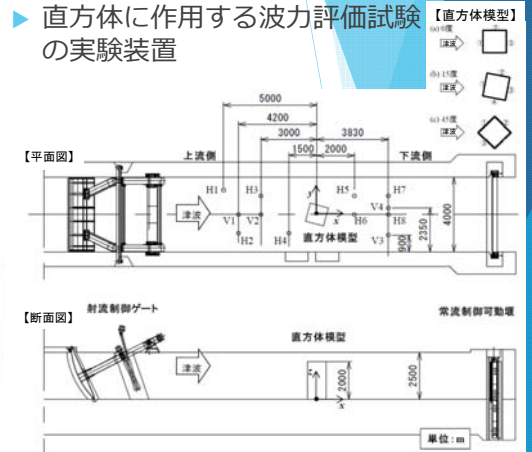
津波波力評価式	津波計算における対象構造物の有無	波力算定に用いる水理量	波圧の種類	ソリトン分裂の有無	対象構造物の形状
朝倉ほか(2000)	構造物なし	最大浸水深	衝撃津波波圧・最大重複波圧	分裂・非分裂	二次元構造物
池野ほか(2006)		最大浸水深	衝撃津波波圧・最大重複波圧	分裂・非分裂	二次元構造物 三次元構造物
内閣府(2005)		最大浸水深	衝撃津波波圧・最大重複波圧	非分裂	三次元構造物
国土交通省(2012)		最大浸水深	衝撃津波波圧・最大重複波圧	非分裂	三次元構造物
消防庁(2009)		最大浸水深	衝撃津波波圧・最大重複波圧	非分裂	二次元構造物 (防油堤)
		最大浸水深・流速	衝撃津波波圧・最大重複波圧	非分裂	三次元構造物 (屋外タンク)
Asakura et al. (2002)		最大浸水深・流速	衝撃津波波圧・最大重複波圧	非分裂	二次元構造物 三次元構造物
神山(2012)		最大浸水深・流速	衝撃津波波圧・最大重複波圧	非分裂	二次元構造物
大森ほか(2000)		浸水深・流速	動波圧・重複波圧(時系列)	非分裂	三次元構造物
飯塚・松尾(2000)		最大浸水深	最大重複波圧	非分裂	三次元構造物
有光ほか(2012)	構造物あり	浸水深・流速	動波圧・重複波圧(時系列)	非分裂	二次元構造物 三次元構造物
木原ほか(2012)		浸水深・流速	重複波圧(時系列)	非分裂	三次元構造物
高島ほか(2013)		浸水深・流速	重複波圧(時系列)	非分裂	二次元構造物

付属編8.1.3.4 平面二次元モデルの計算結果を用いた波力算定(1)

▶ 平面二次元モデルの数値実験水路

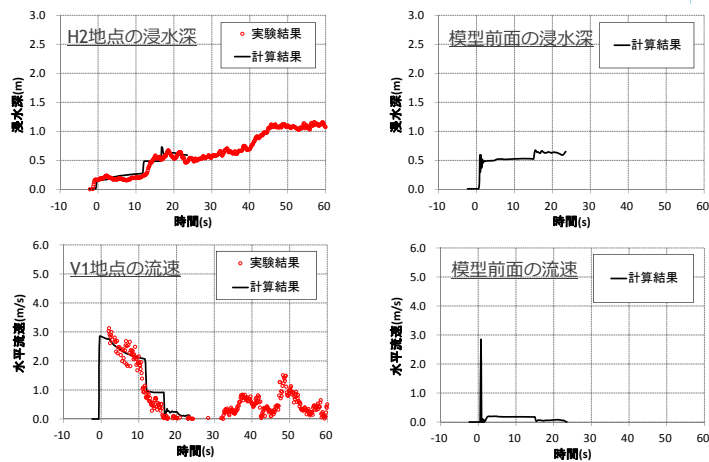


▶ 直方体に作用する波力評価試験の実験装置



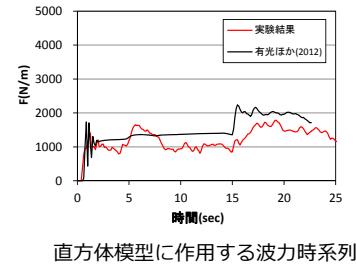
付属編8.1.3.4 平面二次元モデルの計算結果を用いた波力算定(2)

▶ 平面二次元計算結果

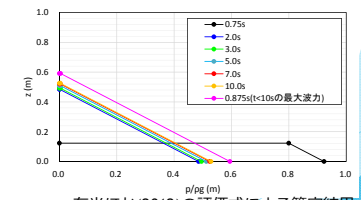
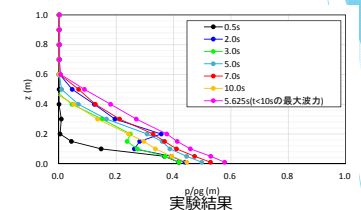


付属編8.1.3.4 平面二次元モデルの計算結果を用いた波力算定(3)

▶ 波力算定結果



直方体模型に作用する波力時系列



有光ほか(2012)の評価式による算定結果
直方体模型に作用する波圧分布

「6.6 砂移動計算」の構成

- 6.6.1 基本的考え方
- 6.6.2 数値解析モデルの選定
 - ・底面せん断力の評価
 - ・流砂量式
 - ・巻上量算定式および沈降量算定式
- 6.6.3 計算条件および諸係数
 - (1) 初期砂層分布・堆積厚さ
 - (3) 浮遊砂上限濃度
 - (4) 空隙率
 - (5) 沈降速度
 - (6) 計算格子間隔

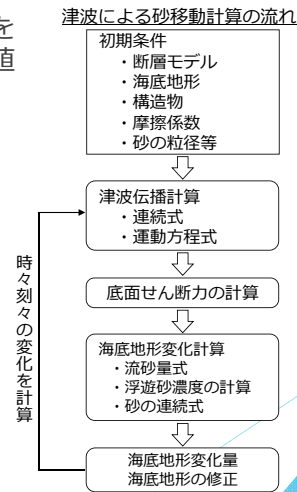
「6.6 砂移動計算」 6.6.1 基本的考え方

- ▶ 津波による砂の移動が原子力施設に与える影響
 - ✓ 取水口前面への砂の堆積による取水機能の低下
 - ✓ 防波堤等構造物周りの砂の洗掘による構造物の倒壊・流失
- ▶ 適切な海底地形変化予測モデルを用いて砂移動計算を実施し、取水口前面での砂の堆積、構造物周りでの洗掘を評価する。

「6.6 砂移動計算」 6.6.2 数値解析モデルの選定

- ▶ 津波による砂の侵食・堆積・洗掘をより精度良く計算できる適切な数値解析モデルを選定。

- ・底面せん断力の評価
- ・流砂量式
- ・巻上量算定式および沈降量算定式



「6.6 砂移動計算」 6.6.2 数値解析モデルの選定

各砂移動計算手法の概要

	藤井ほか(1998)の手法	高橋ほか(1999)(2011)の手法	池野ほか(2009)の手法
流砂量連続式	$\frac{\partial Z}{\partial t} + a \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{E-S}{\sigma(1-\lambda)} = 0$	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{E-S}{\sigma} \right) = 0$	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} + E-S \right) = 0$
浮遊砂濃度連続式	$\frac{\partial C}{\partial t} + a \left(\frac{\partial UC}{\partial x} \right) - \frac{E-S}{D} = 0$	$\frac{\partial(C,D)}{\partial t} + \frac{\partial(MC_s)}{\partial x} - \frac{E-S}{\sigma} = 0$	$\frac{\partial \bar{C}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{C}M}{\partial x} - E+S = 0$
流砂量式	小林ほか(1996)の実験式 $Q = 80d^{2.5} \sqrt{sgd^3}$	高橋ほか(1999)の実験式 $Q = 21r^{1.5} \sqrt{sgd^3}$ 高橋ほか(2011)の実験式 $Q = 5.6r^{1.5} \sqrt{sgd^3} (d = 0.166mm)$ $Q = 4.0r^{1.5} \sqrt{sgd^3} (d = 0.267mm)$ $Q = 2.6r^{1.5} \sqrt{sgd^3} (d = 0.394mm)$	芦田ほか(1972)の実験式 $\frac{Q}{\sqrt{sgd^3}} = 17r^{2.5} (1-r_s/r) \{ 1-(r_s/r)^2 \}$
巻上量算定式	$E = \frac{(1-\alpha)Qw^2\sigma(1-\lambda)}{Uk_s \left[1 - \exp\left(-\frac{wD}{k_s}\right) \right]}$	高橋ほか(1999)の実験式 $E = 0.012r^2 \sqrt{sgd^3} \cdot \sigma$ 高橋ほか(2011)の実験式 $E = 7.0 \times 10^{-3} r^2 \sqrt{sgd^3} \cdot \sigma (d = 0.166mm)$ $E = 4.4 \times 10^{-3} r^2 \sqrt{sgd^3} \cdot \sigma (d = 0.267mm)$ $E = 1.6 \times 10^{-3} r^2 \sqrt{sgd^3} \cdot \sigma (d = 0.394mm)$	$\frac{E}{\sqrt{sgd^3}} = a(v^2 / sgd^2)^{0.2} \{ w / \sqrt{sgd} \}^{0.4} (\tau - \tau_c)^2$ ※係数aは既往の実験結果より0.1~0.2の範囲
沈降量算定式	$S = wC_s$	$S = wC_s \cdot \sigma$	$S = wC_s$
摩擦速度算定式	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 $u_* = \sqrt{gn^2 U^2 / D^{1/3}}$	log-wake 則を鉛直方向に積分した式より算出

「6.6 砂移動計算」

6.6.3 計算条件および諸係数

(1)初期砂層分布・堆積厚さ

- ▶ 平面的な砂層分布を確認。
- ▶ 堆積厚さの情報が得られる場合には、侵食・洗掘限界厚さを設定。
- ▶ 堆積厚さの情報が得られない場合には、侵食・洗掘限界厚さを無限厚さと設定することもできる。

(2)粒径・密度 : 砂の中央粒径と密度を設定

(3)浮遊砂上限濃度

- ▶ 手法の特性を考慮し、既往研究の結果に基づいて、適切に設定。(付属編8.2.4.3)
- ▶ 実海域における検証が行われており、藤田ほか(2010)は、浮遊砂上限濃度1~2%の場合に再現性が良好となる結果を得ている。
- ▶ 今井ほか(2015)は、飽和浮遊砂濃度が水の乱れに追従して変化することを考慮するため、飽和浮遊砂濃度を流速の関数として定式化している。

(4)空隙率 : 砂の空隙率は一般的な値から設定。高橋ほか(1992)では0.4。

(5)沈降速度 : Rubey(1933)等から算定

(6)計算格子間隔 : 津波流速の再現が可能となるよう、適切な計算格子間隔を設定

本編 p.120

37

「6.6 砂移動計算」

付属編8.2.4.3 浮遊砂上限濃度に関する既往研究

付属編 p.8-75

文献	実規模検証	砂粒径	計算格子	浮遊砂上限濃度	浮遊砂上限濃度に関する記載
高橋ほか(1999)	気仙沼湾※1	0.2mm	25m	-	-
玉田ほか(2009)	気仙沼湾※1	0.001m m~1mm	25m,5m	1%, 5%	詳細格子計算の結果、浮遊砂上限濃度5%では侵食深を過大評価
藤田ほか(2010)	八戸港※1	0.26mm	10.3m	1%, 2%, 5%	・浮遊砂上限濃度5%は過大評価 ・浮遊砂上限濃度1~2%の場合の再現性が良好
近藤ほか(2012)	宮古港※2	0.08mm	10m	1%	・全体的な土砂移動傾向は良く一致 ・最大洗掘深や断面地形も定量的に概ね良い一致
森下ほか(2014)	気仙沼湾※1	0.3mm	10m	1% 可変	$\alpha \times \sqrt{U^2 + V^2}$ U, Vは断面平均流速(m/s) αは流速10m/sで浮遊砂上限濃度が0.1となるよう0.01と設定
Sugawara and Takahashi(2014)	仙台平野 名取川周辺※2	0.25mm	-	1%	高橋ほか(2011)による浮遊砂上限濃度を1%とした設定で海岸付近と砂州の陸上部の浸食について、観測結果を非常によく表現
Sugawara et al.(2014)	仙台平野※2	0.166mm 0.267mm 0.394mm	最小5m	1%, 2%, 4%	高橋ほか(2011)により粒径や浮遊砂上限濃度等を変えたパラメータスタディを実施し、陸上遡上域を含め、上限2%で地形変化を良好に再現
山下ほか(2015)	陸前高田市 広田湾※2	0.267mm	-	可変	・高橋ほか(2011)により、地形変化量や海域における堆積土砂の分布傾向を良好に再現 ・高橋ほか(1999)では、砂の巻上げ量が著しく過大で地形変化の再現が困難(学会口頭発表後のやりとりにて言及)
今井ほか(2015)	北上川 河口部※2	0.166mm 0.267mm 0.394mm	最小5m	可変	高橋ほか(2011)の手法に対して浮遊砂上限濃度を流速と水深に応じた関数で設定した解析モデルにより、地形変化を良好に再現

※1: 1960年チリ津波による地形変化, ※2: 2011年東北地方太平洋沖地震津波による地形変化

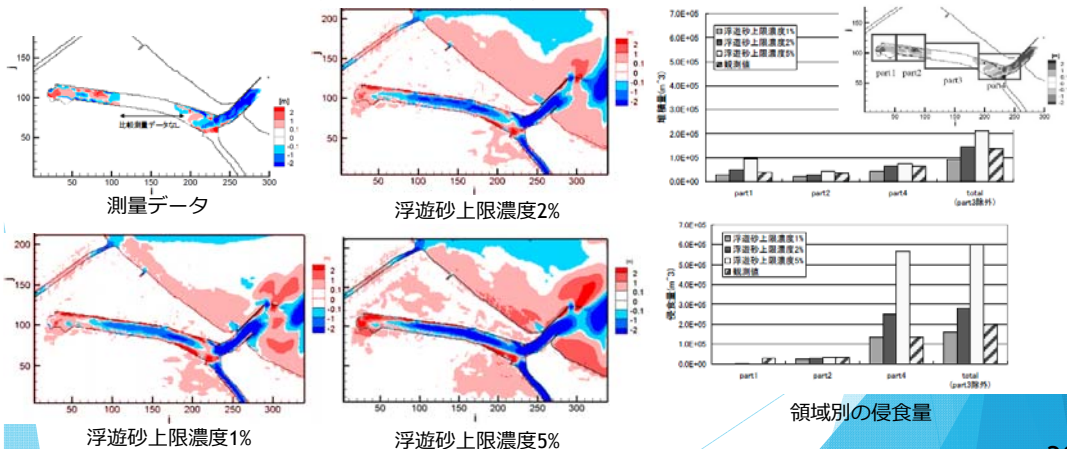
38

「6.6 砂移動計算」

付属編8.2.2 計算事例~八戸港

▶ 1960年チリ津波時の八戸港の海底地形変化量計算

付属編 p.8-41,
p.8-43



39

「6.7 漂流物評価」の構成

6.7.1 漂流物の挙動

6.7.1.1 基本的考え方

6.7.1.2 漂流物解析手法に関する既往研究事例

6.7.2 漂流物による衝突力の算定

6.7.2.1 漂流物・被衝突物の選定

6.7.2.2 衝突力の算定方法

6.7.2.3 衝突力算定式の選定

40

「6.7 漂流物評価」

6.7.1 漂流物の挙動

6.7.1.1 基本的考え方

- ▶ 津波により発生する漂流物に関して、構築物・機器等への衝突や緊急時の取水経路等を閉塞する可能性が考えられる場合には、津波時の漂流物挙動について把握することが必要。
- ▶ 津波時の漂流物挙動については、非線形長波理論に基づいた平面二次元モデルから求まる浸水深、流速、流向等の時間変動の情報に基づき、適切に設定することを基本。
- ▶ 近年、津波の挙動と漂流物の挙動（浮遊、衝突、水没等）を同時に解析する手法の研究が進められており、これらの解析手法の適用性を確認したうえで用いることがある。

「6.7 漂流物評価」

6.7.1 漂流物の挙動

6.7.1.2 漂流物解析手法に関する既往研究事例

レビュー編2.2 漂流物解析手法に関する既往解析事例(1)

文献名	対象物	解析モデル	解析方法の特徴	対象津波
後藤(1983)	木材	平面二次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 流木の水平方向の運動を、慣性、水流の圧力勾配、付加質量、流水抵抗、拡散で表現 ・ 拡散を除く4種類の力の釣り合いを決定論的に扱い、拡散は確率論的に扱う ・ 付加質量係数$C_M=1.78$、抵抗係数C_Dはレイノルズ数とフルード数の関数で設定、拡散係数$\kappa/(u \cdot h)=0.032$ (u: 摩擦速度, h: 全水深) ・ 浅水理論による津波解析の水位と流速を使用 	十勝沖地震津波 (図2.2-1)
藤井ほか(2005)	船舶	平面二次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 船舶を個別要素法 (DEM) によりモデル化。船舶の挙動を並進および回転に関する6自由度の運動方程式により計算 ・ 漂流計算時の流体力はモリソン式を適用 (付加質量係数$C_M=1.0$, 抵抗係数$C_D=1.0$) ・ 浅水理論による津波解析の水位と流速を使用 	模型実験との比較 (図2.2-2)
小林ほか(2005)	船舶	平面二次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波の流況計算は浅水理論による ・ 船舶の漂流に関する運動方程式は主たる運動が前後、左右、ヨー方向 (鉛直軸回りの回転) のみとして定式化し、船体重心を原点とする船体移動座標系を使用 ・ 船前後方向の船体抵抗係数C_{Dx}は、シェンヘル式に基づき、船左右方向の船体抵抗係数C_{Dy}は浅水効果の影響を考慮して類似船形の実験値などを参考に設定 	中央防災会議 東南海・南海地震津波 (図2.2-3)

「6.7 漂流物評価」

6.7.1 漂流物の挙動

6.7.1.2 漂流物解析手法に関する既往研究事例

レビュー編2.2 漂流物解析手法に関する既往解析事例(2)

文献名	対象物	解析モデル	解析方法の特徴	対象津波
本多ほか(2009)	船舶	平面二次元モデル (臨海部の一部に三次元モデルを適用)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波の流況計算は高潮津波シミュレータ (STOC) (富田・柿沼,2005) による ・ 船舶の漂流に関する運動方程式は、主たる運動が前後、左右、ヨー方向のみと仮定して定式化し、船体重心を原点とする船体移動座標系を使用 ・ 船舶の漂流計算に必要な流体力は、モリソン式を拡張したものに基づく (慣性力係数$C_M=2.0$, 船体の抗力係数$C_{Dx} \cdot C_{Dy}$は建物に作用する風圧分布を参考) ・ 漂流物と地面や建物との衝突および漂流物相互の衝突を考慮 	漂流物の運動や衝突に関するテスト計算および実地形への適用 (図2.2-4)
橋本ほか(2009)	船舶	平面二次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波の流況計算は浅水理論によるスタッガード・リーブフロッグ差分法で解く ・ 船舶の漂流に関する運動方程式は、主たる運動が前後、左右、ヨー方向のみと仮定して定式化し、船体重心を原点とする船体移動座標系を使用 ・ 船体抵抗係数は小林ほか(2005)と同様の設定方法 ・ 船舶の回頭運動は船体を複数のセグメントに分割してz軸回りのモーメントを考慮することで表現し、海底摩擦による船舶の座礁も考慮 	2004年 インド洋津波 (図2.2-5)
橋本ほか(2010)	船舶	平面二次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋本ほか(2009)の改良版 ・ 漂流船舶に作用する流体力は、モリソン式に基づく式で表現し、慣性力係数$C_M=C_{Mx}=1.0$, 船体抵抗係数C_{Dx}, C_{Dy}は橋本ほか(2009)と同様の設定方法とする。 ・ 船体を複数セグメントに分割し、漂流船舶に働く回頭モーメントと、回転によって生じる抵抗モーメントを定式化し、運動方程式に適用 ・ 漂流船舶と陸上構築物との衝突後の挙動を新たに定式化 	藤井ほか(2005)の模型実験との比較 (図2.2-6)

「6.7 漂流物評価」

6.7.1 漂流物の挙動

6.7.1.2 漂流物解析手法に関する既往研究事例

レビュー編2.2 漂流物解析手法に関する既往解析事例(3)

文献名	対象物	解析モデル	解析方法の特徴	対象津波
藤井・今村(2010)	船舶	平面二次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 藤井ほか(2005)の拡張個別要素法 (EDEM) による解析結果を使用 ・ 漂流挙動実験結果を考慮し、EDEMによる確定論的な位置と拡散による変動量の和として評価 (砕波前後の無次元拡散係数をそれぞれ0.001, 0.8と設定) ・ 藤井ほか(2005)の結果における構築物への衝突時間が遅れる要因は、津波波力算定時のモリソン式中の係数が小さいことが考えられる。 	藤井ほか(2005)の模型実験との比較 (図2.2-7, 図2.2-8)
川崎ほか(2006)	矩形物体	断面二次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 二次元固気液多相乱流数値モデルDOLPHIN-2Dを使用 ・ 三次元固気液多相乱流数値モデルDOLPHIN-3Dを使用 ・ 乱流モデルはSmagorinskyモデルに基づくLESを採用 	模型実験との比較 (図2.2-9)
川崎・榎田(2007)	矩形物体	三次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 三次元固気液多相乱流数値モデルDOLPHIN-3Dを使用 ・ 複数剛体の運動解析が可能 (個々の剛体に対する固相密度関数を導入) ・ 乱流量をダイナミック二変数混合モデルDTMに基づくLESモデルで評価 	川崎ほか(2006)の模型実験との比較 (図2.2-10)
米山ほか(2008)	木材角柱	断面二次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水面を有する流動現象を精度良く再現するために、水面挙動の予測にVOF法、境界形状の取り扱いにFAVOR法を用いた非圧縮流体解析手法を使用 ・ 運動方程式はレイノルズ方程式とし、流体体積の移流方程式はVOF法に基づいて離散化し、移流はドナーアクセプタ法により実施 ・ 漂流物を剛体の移動境界として取り扱い、漂流物の移動は、まず漂流物重心の移動速度と回転速度を計算し、それに基づいて漂流物の位置と回転角を計算 	池野ほか(2003)の模型実験との比較

「6.7 漂流物評価」

6.7.1 漂流物の挙動

6.7.1.2 漂流物解析手法に関する既往研究事例

レビュー編2.2 漂流物解析手法に関する既往解析事例(4)

文献名	対象物	解析モデル	解析方法の特徴	対象津波
米山・永島 (2009)	木材 (円柱 および 角柱)	三次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・並進3自由度および回転3自由度を考慮した三次元数値解析手法を開発 ・流体の基礎方程式は米山ほか(2008)と同様 ・剛体運動は剛体の重心を原点とした慣性主軸座標系を設定し、漂流物重心の運動方程式と、漂流物重心回りの回転運動の運動方程式を定式化 ・漂流物を受ける流体力は圧力(流体内部の場合と水面を含む場合で区別)と粘着力を考慮し、漂流物の壁面への衝突も考慮 	池野ほか(2003)の模型実験との比較 (図2.2-11)
後藤ほか (2009)	コンテナ	三次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・津波によるコンテナの挙動および壁面への衝突力を検討するために、粒子法による三次元シミュレーションを実施 ・流体解析はMPS法を用い、運動方程式はナビエ・ストークス式を使用 ・コンテナは複数の固相粒子を剛体連結モデルによって構成し、コンテナに作用する流体力は剛体構成粒子を流体粒子と一緒に粒子間相互作用モデルに組み込むことで計算(固相粒子間の衝突力はバネ・ダッシュポットモデルを適用して計算) 	有川ほか(2007)の模型実験との比較 (図2.2-12)
池田・有川 (2014)	コンテナ	三次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・有川ほか(2011)による固気液三層モデル(CS-2DEM)を用いて、コンテナの漂流挙動を計算 ・固気液三層モデル(CS-2DEM)は、非圧縮性の気液二相流体に対応可能となるようCADMAS-SURF/3Dに改良を加えたもの(気液二相モデル)に個別要素法(DEM)を連成させている 	模型実験との比較 (図2.2-13)

「6.7 漂流物評価」

6.7.2 漂流物による衝突力の算定

6.7.2.1 漂流物・被衝突物の選定

- ▶ 本編3.5で示した津波漂流物に関する調査の結果および津波水位、流速等の水理量に基づき漂流物化する物体を選定する。
- ▶ 衝突力の算定に被衝突物の諸元が必要となる場合は、評価対象とする被衝突物の選定も併せて行う。

「6.7 漂流物評価」

6.7.2 漂流物による衝突力の算定

6.7.2.2 衝突力の算定方法

- ▶ 漂流物の諸元および漂流速度から適切な衝突力算定式を用いて算定。
- ▶ 漂流速度については、非線形長波理論に基づく数値解析結果から得られる水理量(津波水位、浸水深、流速、流向等)を基に適切に設定。

漂流物の衝突力算定式

文献名	漂流物の種類	算定式
松富ほか (1999)	木材 (円柱)	$F_w (\gamma D^2 L) = (1.2-1.5) C_{uw} \left[\frac{1}{2} \rho_w (\sigma_w \gamma L)^2 \right]$ <p>F_w: 衝突力、γ: 流木の単位体積重量、D: 木材の直径、L: 木材の長さ、g: 重力加速度、C_{uw}: 見かけの質量係数(木の縦衝撃も加味)、σ_w: 衝突速度、ρ_w: 木材の降伏応力</p>
池野・田中 (2003)	木材 (円柱、角柱、球状体)	$F_w (\rho g M) = S \cdot C_{uw} \cdot V_w \cdot g \cdot (D^2 L^2)^{1/2}$ <p>F_w: 衝突力、g: 重力加速度、M: 漂流物の重量、S: 係数($=0$)、C_{uw}: 付加質量係数、V_w: 漂流物移動速度、D: 漂流物の直径(角柱の場合は正方形断面辺長)、L: 漂流物の長さ</p>
日本道路協会 (2012)	流木等	$P = 0.1 W v$ <p>P: 衝突力、W: 漂流物の重量、v: 表面流速</p>
FEMA (2012)	コンテナ	$F_c = 1.3 u_{max} \sqrt{m c (1+c)}$ <p>F_c: 衝突力、c: 付加質量係数、u_{max}: 漂流物を運ぶ流体の最大流速、m: 漂流物の質量と有効軸荷</p>
水谷ほか (2005)	コンテナ	$F_c = 2 \rho_w B_c D_c^2 \left(\frac{W v}{g d} \right) \cdot F_c \approx C_c = 2 \sqrt{g v_w}$ <p>F_c: 衝突力、g: 重力加速度、W: コンテナの重量、B_c: コンテナ幅、D_c: 海上波の最大水位、d: 衝突時間、ρ_w: 水の密度、F_c: コンテナの漂流速度、C_c: 津波の海上流速</p>
有川・警崎 (2010)	コンテナ、流木	$F = \gamma_w x^2 \left(\frac{g}{m} \right)^{1/2} v^2 \quad x = \frac{m D_c}{3c k + m} \quad k = \frac{(1-U^2)}{2E} \quad \gamma_w = \frac{m_w m_c}{m_w + m_c}$ <p>x: 衝突面半径の1/2(ここではコンテナが衝突面の縦長さの平均の1/4)、E: コクサートのヤング率、U: ボアソン比、m: 質量、v: 衝突速度、γ_w: 塑性によるエネルギー減衰効果、符号1は衝突体と被衝突体を表す。</p>
海洋学調査会 (1978)	船舶	$F = \frac{W v^2}{4 g D}$ <p>F: 衝突力、W: 衝突船舶の重量、v: 衝突速度、D: 衝突船舶の停止距離</p>

「6.7 漂流物評価」

6.7.2 漂流物による衝突力の算定

6.7.2.3 衝突力算定式の選定

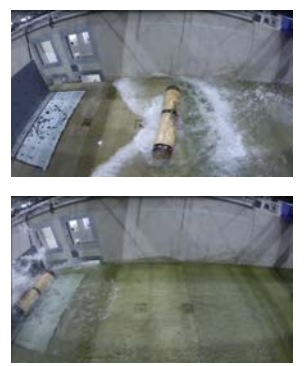
- ▶ 漂流物の衝突力については、流木やコンテナを対象とした各種算定式が提案されているものの、現状では十分に解明されていない点が多く、検証・実用例が限定的であり、定量的評価手法が確立されていない。
- ▶ したがって、漂流物による衝突力の算定にあたっては、漂流物の種類や漂流・衝突の状態等の各算定式の前提条件を吟味したうえで用いることが望ましい。

「6.7 漂流物評価」

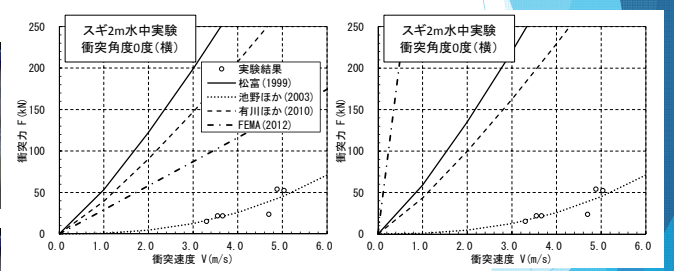
6.7.2 漂流物による衝突力の算定

6.7.2.3 衝突力算定式の選定

丸太漂流衝突試験



実験状況



(1)既往の設定値を用いた場合 (2)計測した物性値を用いた場合

衝突力算定式と実験結果の比較 (丸太水中実験)

※実験結果は衝突角度0度(横)による衝突力であるのに対し、松富(1999)、有川ほか(2010)の算定式は衝突角度90度(縦)を対象とした算定式であること、FEMA(2012)の有効軸剛性には衝突角度90度(縦)の値を用いていることに留意する必要がある。