

平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための
津波浸水シミュレーションの手引き（案）

1. 概要

1. 1 本手引きの位置づけ

本手引き（案）は、平成 23 年東北地方太平洋沖地震に起因する津波災害を踏まえ、被災地域の復旧・復興計画の策定等を支援するため、迅速かつ適切な津波浸水シミュレーションを実施するための標準的な方法等を示すものである。

<解説>

平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波（以下「今次津波」という。）を踏まえた津波対策については、土木学会東日本大震災特別委員会津波特定テーマ委員会、中央防災会議東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波に関する専門調査会、社会資本整備審議会計画部会等において検討がなされ、あらゆる規模の津波に対して、人的・経済的被害を軽減させる「減災」の考え方を基本とすることが示された。

一方で、今次津波の被災地域においては、地域の復旧・復興に向けた計画策定等の取り組みが本格化しつつある。

本手引き（案）は、このような背景を踏まえ、今次津波の被災地域において、様々な規模の津波に対応した復旧・復興計画の策定等を支援するため、「津波・高潮ハザードマップマニュアル（平成 16 年 3 月、内閣府、農林水産省、国土交通省）」の考え方を基本として、迅速かつ適切な津波浸水シミュレーションを実施するための標準的な方法等を緊急的にとりまとめたものである。

本手引き（案）の取りまとめに当たっては、「海岸における津波対策検討委員会」において学術的、技術的観点から助言を頂いたものである。

なお、本手引き（案）に基づく津波浸水シミュレーションは、最大浸水深、最大流速等の平面分布等を得るために実施するものであり（詳細は、「7. 1 出力事項」を参照）、個別の構造物周辺など局所的な津波挙動のシミュレーションには、3 次元モデルなど別途の方法による必要がある。

(参 考) 海岸における津波対策検討委員会 委員 (学識者のみ)

磯部 雅彦 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授 (座長)

今村 文彦 東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター 教授

佐藤 慎司 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 教授

高橋 智幸 関西大学社会安全学部 教授

中野 晋 徳島大学工学部建設工学科 教授

平石 哲也 京都大学防災研究所 教授

藤間 功司 防衛大学校システム工学群建設環境工学科 教授

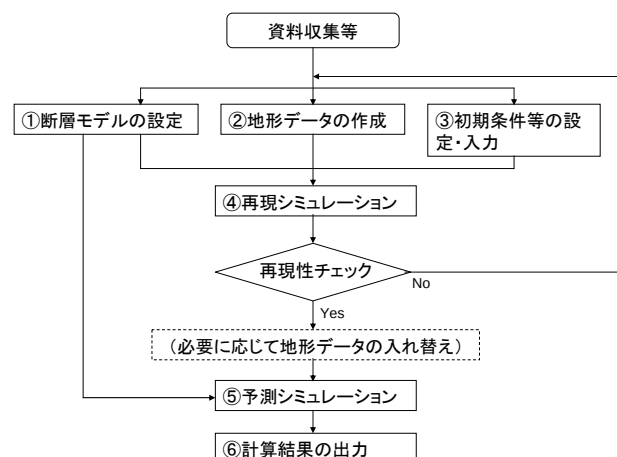
(※敬称略、五十音順)

1. 2 津波浸水シミュレーションの流れ

津波浸水シミュレーションは、一般的に、①断層モデルの設定、②地形データの作成、③初期条件等の設定・入力、④再現シミュレーション、⑤予測シミュレーション、⑥計算結果の出力、の手順で実施する。

<解説>

一般的に、津波浸水シミュレーションは、下図に示すような手順で実施する。



津波浸水シミュレーションの流れ

2. 断層モデルの設定

2. 1 対象地震の断層モデルの設定

対象地震の断層モデルは、津波から見た最適断層モデルを、各地域海岸（ユニット）の痕跡値に適合するように修正したものを設定することを基本とする。

なお、津波から見た最適断層モデルとは、津波の再現シミュレーションを実施し、広域における妥当性を検証したものとして発表されている断層モデルを指す。

<解説>

① 断層モデルの概要

地震断層モデルは、津波浸水シミュレーションを実施する上での、初期条件（初期水位）と地盤変位を決定する。

断層モデルの諸元には、以下のようなものがある。

基準点位置：N, E

断層面上縁深さ：d

断層長さ：L

断層幅：W

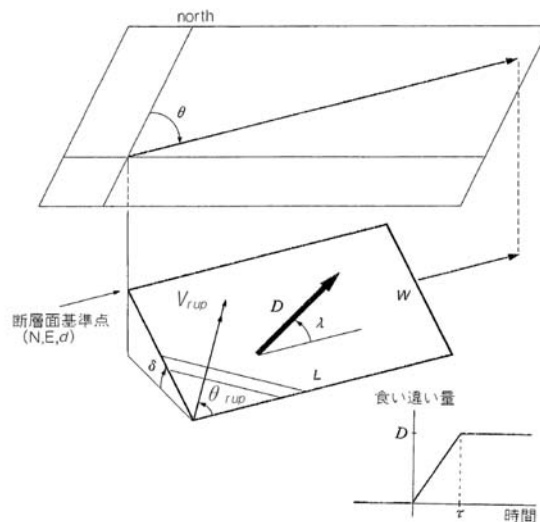
すべり量：D

走向： θ

傾斜角： δ

すべり角： λ

これらの諸元は津波の大きさと浸水状況に直接影響する。

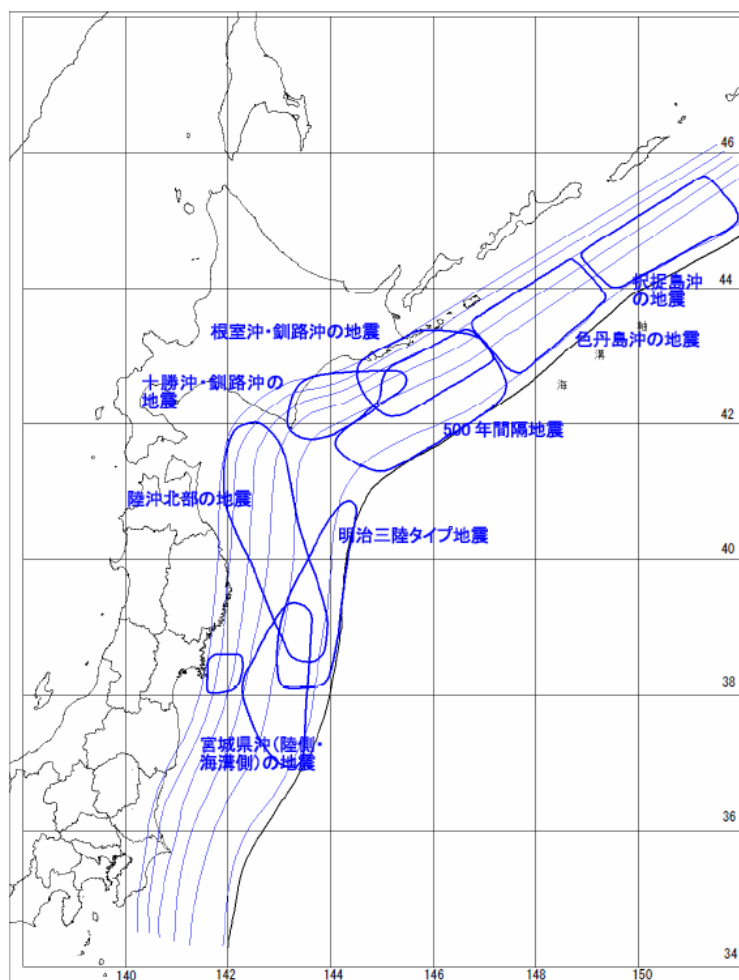


断層モデルの諸量（土木学会「原子力発電所の津波評価技術」より）

② 既往及び想定地震の取り扱いについて

既往地震については、公的機関によって検証された断層モデルが存在する地震を対象とする。また、想定地震については、既往の研究により得られている地震断層モデルを対象とする。

中央防災会議の日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会では、下図のような津波を発生させる断層領域が想定されている。



また、岩手県、宮城県の地震被害想定調査では、以下のような断層モデルが設定されている。

岩手県の設定例（出典：岩手県地震・津波シミュレーション及び被害想定調査に関する報告書（概要版））

想定津波	明治三陸	昭和三陸	十勝沖
断層面基準点の緯度N[°]	40.31	40.16	41.58
断層面基準点の経度E[°]	144.40	144.50	143.58
断層面基準点の深さd[km]	0	1	1
断層の長さL[km]	210	185	150
断層の幅W[km]	50	50	100
断層の走向 θ [°]	190	180	156
断層の傾斜 δ [°]	20	45	20
断層のすべり角 λ [°]	90	270	38
断層のすべり量U[cm]	570 (1055) ^(注1)	660	400
気象庁マグニチュード (津波マグニチュード M_s ^(注2))	8 1/2 ^(注3) (8.3)	8.1 (8.2)	7.9 (8.1)
出典	Tanioka and Satake (1996)	相田(1977)	Aida(1978)

注1) 明治三陸津波の Tanioka and Satake モデルのすべり量は 570 cm と小さく、沿岸の痕跡高の記録が説明できないので、検証計算には、これを 1.85 倍してすべり量を 1055 cm としたモデルを用いた。

注2) 渡辺(1998)より引用した。

注3) 理科年表による(宇津(1982, 1985)を引用した値とされている)マグニチュードである。

想定津波	想定宮城県沖連動地震		
	領域 A1	領域 A2	領域 B
断層面基準点の緯度N[°]	38.41	38.20	38.95
断層面基準点の経度E[°]	142.49	142.39	143.52
断層面基準点の深さd[km]	26	26	14
断層の長さL[km]	36	40	133
断層の幅W[km]	64	36	49
断層の走向 θ [°]	200	200	205
断層の傾斜 δ [°]	21	21	12
断層のすべり角 λ [°]	90	90	90
断層のすべり量U[cm]	350	350	564
モーメントマグニチュード M_w	8.0		
出典	地震調査研究推進本部(2003), 宮城県防災会議地震対策等専門部会(2004)		

宮城県の設定例（出典：宮城県第三次地震被害想定調査報告書）

断層帯	宮城県沖 (単独)	宮城県沖(連動)		
項目	A1	A1	A2	B ^{※1}
緯度(°)	38.41	38.41	38.20	38.95
経度(°)	142.49	142.49	142.39	143.52
上端深さd(km)	26	26	26	14
長さL(km)	36	36	40	133
幅W(km)	64	64	36	49
走向θ	200	200	200	205
傾斜δ(°)	21	21	21	12
すべり角λ(°)	90	90	90	90
マクロ的に見たパラメータ				
断層面積S(km ²)	2266.0		3315.0	6505.0
平均すべり量D(m)	2.9		3.5	5.64
アスベリティ1				
面積Sa1(km ²)	96.0	96.0	128.0	—
すべり量Da1(m)	5.9	6.7	7.7	—
アスベリティ2				
面積Sa2(km ²)	96.0	96.0	—	—
すべり量Da2(m)	5.9	6.7	—	—
背景領域				
面積Sb(km ²)	2074.0		2995.0	
すべり量Db(m)	2.7		3.1	
破壊過程	考慮せず			

断層帯	1933年昭和 三陸地震
項目	
緯度(°)	40.16
経度(°)	144.50
上端深さd(km)	1
長さL(km)	185
幅W(km)	50
走向θ	180
傾斜δ(°)	45
すべり角λ(°)	270
各セグメントのパラメータ	
セグメント4(S4)	
緯度(°)	40.16
経度(°)	144.50
断層面積(km ²)	2312.5
すべり量(m)	5.6
セグメント3(S3)	
緯度(°)	39.74
経度(°)	144.50
断層面積(km ²)	2312.5
すべり量(m)	8.0
セグメント2(S2)	
緯度(°)	39.32
経度(°)	144.50
断層面積(km ²)	2312.5
すべり量(m)	7.3
セグメント1(S1)	
緯度(°)	38.91
経度(°)	144.50
断層面積(km ²)	2312.5
すべり量(m)	7.2
破壊過程	考慮せず

土木学会原子力土木委員会津波評価部会では、既往津波について、以下のような断層モデルを提案している。

海域 小分	対象津波	M_w モデル	S (km^3)	L (km)	W (km)	D (m)	d (km)	θ ($^\circ$)	δ ($^\circ$)	λ ($^\circ$)	μ ($\times 10^{10}$ N/m 2)	すべり方 向($^\circ$)	データ 数	K	κ	備考	タイプ
千島 海溝 沿い	1952年十勝沖	8.17	13000	130	100	3.5	1	220	20	76	5.0	144.86	25	1.236	1.462	(参考)七省序, Aida(1978)モデル	プレート間逆断層地震
	1973年根室半島沖	7.81	6000	60	100	2.2	2.3	230	27	101	5.0	127.69	検潮	1.01	1.18	(参考)電力, 補正	プレート間逆断層地震
	1994年 北海道東方沖	8.41	12800	160	80	5.78	10	230	77	128	7.0	66.06	14	0.752	1.454	(参考)七省序, 高橋智幸ら(1995)モデル	プレート内逆断層地震
	1611年慶長三陸沖	8.58	12250	245	50	10.7	1	180	45	270	7.0	270.00	11	1.003	1.368	補正相田(1977)	プレート内正断層地震
日本 海溝 沿い	同上	8.32	10500	210	50	10.3	1	190	20	75	3.5	115.92	11	1.003	1.416	本体系化原案	プレート間津波地震
	1677年房総沖	8.17	10000	200	50	6.5	1	210	20	90	3.5	120.00	15	1.00	1.41	電力、検自モデル	プレート間津波地震
	1793年宮城県沖	8.246	14700	210	70	4.0	10	205	15	90	5.0	115.00	33	0.997	1.479	本体系化原案	プレート間逆断層地震
	1856年十勝沖	8.28	8400	120	70	7.8	26	205	20	90	5.0	115.00	20	1.001	1.362	本体系化原案	プレート間逆断層地震
	1896年明治三陸沖	8.30	10500	210	50	9.7	1	195	20	90	3.5	105.00	100	1.00	1.544	補正Tanioka and Satake(1996)	プレート間津波地震
	1933年昭和三陸沖	8.354	9250	185	50	6.6	1	180	45	270	7.0	270.00	571	0.95	1.39	電力、相田(1977)モデル	プレート内正断層地震
	1968年十勝沖	8.36	5000	50	100	5.9	16	195	20	76	5.0	119.86	273	1.019	1.405	本体系化原案	プレート間逆断層地震
			5000	50	100	5.9	8	195	20	76	5.0	119.86					
			5000	50	100	5.9	3	195	20	76	5.0	119.86					
	1897年三陸沖	7.80	3600	120	30	3.5	1	205	20	90	5.0	115.00	13:間接	-	1.6	(参考)相田(1977)	プレート間逆断層地震
	1931年青森県東方沖	7.39	3000	100	30	0.74	50	192	20	90	7.0	102.00	検潮	-	-	(参考)相田(1977)	プレート間逆断層地震
	1938年塩屋沖II	7.72	6000	100	60	1.6	30	200	10	95	5.0	284.92	検潮	0.84	1.32	(参考)電力、修正 Abe(1977)	プレート間逆断層地震
	1938年塩屋沖IV	7.753	3825	85	45	2.0	20	190	80	270	7.0	280.00	検潮	0.62	1.95	(参考)電力、補正 Abe(1977)	プレート内正断層地震
	1938年塩屋沖V	7.70	4275	95	45	1.5	20	190	80	270	7.0	280.00	1	0.419	-	(参考)七省序, Abe(1977)モデル	プレート内正断層地震
	1968年岩手県沖	7.60	3500	70	50	1.8	1	151	30	31	5.0	123.51	検潮	0.99 0.82	1.48 1.66	(参考)Aida(1978)	プレート間逆断層地震
	1978年宮城県沖	7.516	1690	26	65	2	25	190	20	85	7.0	105.32	検潮	-	-	(参考)相田(1978b)	プレート間逆断層地震
	1994年 三陸はるか沖	7.66	1800	60	30	0.75	35.4	200	10	90	5.0	110.00	検潮	-	-	(参考)Tanioka et al.(1996) (7セグメント;負のす べり除外)	プレート間逆断層地震
			1350	30	45	0.65	27.1	200	10	90	5.0	110.00					
			1350	30	45	0.93	27.1	200	10	90	5.0	110.00					
			1350	30	45	0.73	19.1	200	10	90	5.0	110.00					
			1350	30	45	1.71	19.1	200	10	90	5.0	110.00					
			1800	60	30	0.56	13.4	200	10	90	5.0	110.00					

(出典：土木学会「原子力発電所の津波評価技術」)

東北地方太平洋沖地震については、以下のような断層モデルが提案されている。

東北大学モデル(version1.0)

セグメント No.	lat ($^\circ\text{N}$)	long ($^\circ\text{E}$)	Length (km)	Width (km)	Depth (km)	Strike ($^\circ$)	Dip ($^\circ$)	Rake ($^\circ$)	Slip (m)
1	40.168	144.507	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	20.00
2	39.300	144.200	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	10.00
3	38.424	143.939	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	35.00
4	37.547	143.682	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	15.00
5	36.730	143.070	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	2.50
6	40.367	143.394	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	1.00
7	39.496	143.100	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	3.00
8	38.620	142.853	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	4.00
9	37.744	142.609	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	2.00
10	36.926	142.009	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	2.00

(出典： http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/events/tohoku_2011/model/110610_東北大_vers1.0.pdf)

藤井・佐竹モデル (version 4.0)

ID	lat(° N)	long(° E)	Length(km)	Width(km)	Depth(km)	Strike(°)	Dip(°)	Rake(°)	Slip(m)
1	39.738	144.331	50	50	0	193	14	81	0
2	39.300	144.200	50	50	0	193	14	81	0
3	38.862	144.069	50	50	0	193	14	81	5.74
4	38.424	143.939	50	50	0	193	14	81	34.45
5	37.986	143.810	50	50	0	193	14	81	33.62
6	37.547	143.682	50	50	0	193	14	81	30.83
7	37.135	143.400	50	50	0	193	14	81	14.09
8	36.730	143.070	50	50	0	193	14	81	1.95
9	36.325	142.740	50	50	0	193	14	81	0
10	35.905	142.504	50	50	0	193	14	81	0.01
11	39.836	143.778	50	50	12.1	193	14	81	0
12	39.398	143.651	50	50	12.1	193	14	81	3.52
13	38.960	143.523	50	50	12.1	193	14	81	5.56
14	38.522	143.397	50	50	12.1	193	14	81	23.35
15	38.084	143.271	50	50	12.1	193	14	81	19.87
16	37.646	143.146	50	50	12.1	193	14	81	8.52
17	37.233	142.867	50	50	12.1	193	14	81	8.82
18	36.828	142.540	50	50	12.1	193	14	81	4.27
19	36.423	142.213	50	50	12.1	193	14	81	0
20	36.003	141.979	50	50	12.1	193	14	81	0.2
21	39.934	143.224	50	50	24.2	193	14	81	0
22	39.496	143.100	50	50	24.2	193	14	81	0.05
23	39.058	142.977	50	50	24.2	193	14	81	3.79
24	38.620	142.853	50	50	24.2	193	14	81	12.44
25	38.182	142.731	50	50	24.2	193	14	81	12.65
26	37.744	142.609	50	50	24.2	193	14	81	4.21
27	37.331	142.333	50	50	24.2	193	14	81	4.34
28	36.926	142.009	50	50	24.2	193	14	81	4.98
29	36.521	141.684	50	50	24.2	193	14	81	1.94
30	36.101	141.454	50	50	24.2	193	14	81	0.14
31	40.032	142.670	50	50	36.3	193	14	81	0
32	39.594	142.549	50	50	36.3	193	14	81	0
33	39.156	142.430	50	50	36.3	193	14	81	0
34	38.718	142.309	50	50	36.3	193	14	81	0
35	38.280	142.190	50	50	36.3	193	14	81	11.57
36	37.842	142.071	50	50	36.3	193	14	81	0
37	37.429	141.798	50	50	36.3	193	14	81	0
38	37.024	141.477	50	50	36.3	193	14	81	1.28
39	36.619	141.155	50	50	36.3	193	14	81	0.59
40	36.199	140.928	50	50	36.3	193	14	81	0.62

(出典： http://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/OffTohokuPacific2011/tsunami_ja.html)

③ 断層モデルの設定方法

断層モデルは、津波から見た最適断層モデルを、地域海岸（ユニット）毎に痕跡値に適合するように修正した断層を設定することを基本とする。地域海岸（ユニット）とは、（一の海岸保全基本計画を作成すべき）一体の海岸の区分（沿岸）を「湾の形状や山付け等の自然条件」、「文献や被災履歴等の過去に発生した津波の実績津波高さ及びシミュレーションの高さ」等から、同一の津波外力を設定しうると想定される一連のまとまりのある海岸線に分割したものをいう。歴史地震で対象地域海岸（ユニット）に痕跡データがない場合には、「津波から見た最適断層モデル」をそのまま採用してもよい。

3. 地形データの作成

3. 1 地形データ作成の考え方

津波浸水シミュレーションに用いる地形データは、東北地方太平洋沖地震の後にレーザプロファイラ等により取得された精度の高いデータから作成することを基本とする。東北地方太平洋沖地震の前に測量されたデータを使用する場合には、その地盤変動量を考慮して地形データを作成するものとする。

津波浸水シミュレーションは海域と陸域を一体として行うものであるから、使用する地形データは原則として東京湾平均海面（T.P.）を基準面とするものとする。また、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ふまえて、適切に処理するものとする。

作成された地形データは、現地実態と合致しているか確認するものとする。

<解説>

①海域の地形データ

海図等の水深データは、最低水面を基準としていることが多いことから、それを使用する場合にはT.P.を基準とする値に変換する必要がある。

海域の地形データは、東北地方太平洋沖地震後に取得されたデータを使用することを基本とする。そのようなデータがない海域では、東北地方太平洋沖地震の地盤変動量を考慮して、下記を利用して作成してもよい。

- ・JTOPO30（日本近海 30 秒グリッド水深データ）（財）日本水路協会
- ・J-EGG500（日本周辺 500m メッシュ水深データ） 日本海洋データセンター
- ・M7000 シリーズ（海底地形デジタルデータ）（財）日本水路協会
- ・深浅測量データ 海岸管理者
- ・港湾平面図、漁港平面図 港湾管理者、漁港管理者
- ・GEBCO（大洋水深総図）

②陸域の地形データ

標高データは、東北地方太平洋沖地震後にレーザプロファイラで取得された標高メッシュデータを使用することを基本とする。レーザプロファイラで取得された標高メッシュデータは、数m単位のメッシュとなっており、最も解像度が高い標高データである。

東北地方太平洋沖地震後にレーザプロファイラによる測量が行われていない地域では、空中写真測量（ステレオマッチング）で取得された標高メッシュデータを使用してもよい。

東北地方太平洋沖地震後の標高データが存在しない地域では、東北地方太平洋沖地震の地盤変動量を考慮して、東北地方太平洋沖地震前に作成された下記資料を利用することとする。

- ・レーザプロファイラで取得された標高メッシュデータ
- ・自治体が整備している 1:2,500 地形図（国土基本図）の等高線や個々の標高値
- ・国土地理院発行の数値地図の 50m 格子標高値
- ・国土地理院発行の縮尺 1:50,000 地形図または 1:25,000 地形図の等高線

1:25,000 地形図では 10m 間隔の等高線で標高が表現されており、また数値地図の 50m 格子標高値は 1:25,000 の等高線から作成されたものである。このため、浸水被害が発生しやすい水際線付近の低平地の標高を忠実に再現することは困難な場合があることに留意する必要がある。

3. 2 計算領域および空間格子間隔

津波浸水シミュレーションの計算領域および空間格子間隔は、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、適切に設定するものとする。

<解説>

① 計算領域

津波浸水シミュレーションの計算領域は、波源域を含み、屈折、反射、遡上等が精度よく再現できるような領域を設定する必要がある。

外洋では津波の1波長は数10km～数100kmのオーダーであるが、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を用いる必要がある。このため、津波の空間波形および地形の状況に応じて異なる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。

② 空間格子間隔

津波浸水シミュレーションにおける空間格子間隔は以下の点をふまえて設定することとするが、陸上部における最小空間格子間隔は10m程度より小さくすることを目安とする。

屈折、反射、遡上等の津波の挙動を精度良く再現できるように、格子間隔を設定する必要がある。

格子間隔は、主要な計算領域全体にわたり、津波空間波形の1波長の1/20以下とすることが望ましいとされている（長谷川ら、1987）。

伝播過程における海域のうち、屈折現象の影響が大きいと判断される領域については、津波空間波形の1波長の1/100以下の格子間隔が必要となる場合がある（土木学会「原子力発電所の津波評価技術」）。

陸域（遡上域）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 ）を設定してもよいとされている（土木学会「原子力発電所の津波評価技術」）。

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

3. 3 河川地形条件

津波浸水シミュレーションに際しては、河川の地形条件（河道平面形状・河床高など）を計算格子と標高（水深）データで表現するとともに、河川堤防の天端高などの構造物条件を設定する。

<解説>

震源から沿岸に達した津波の一部は、河口から遡上して河川から溢れて浸水を引き起こす可能性がある。津波シミュレーションにおいては、河川の地形（河道平面形状・河床高など）や河川堤防の形状を考慮しないと、河川から生じる浸水を適切に評価することができない。

河川地形を考慮しない場合は、河口から上流の河道に該当する計算格子の標高データに左右岸の堤内地の標高をあてはめている場合が多く、この場合河川から越流するような津波は考慮できない。一方、河川地形を考慮する場合は、河川縦横断面図等を根拠にして河道に該当する計算格子の標高データに河床高などを設定する場合が多く、河川を遡上する津波を考慮できる。

なお、河道内は浅い水深が続いて波状段波を形成することがあるが、このような現象は浅水理論では表現できない。

河川堤防については、4.3 に従って構造物条件を設定する。

河川の地形条件設定については、「津波の河川遡上解析の手引き（案）」を参考にできる。

4. 初期条件の設定

4. 1 初期水位

初期水位は、断層モデルによって計算される海底面の鉛直変位分布を海面に与える方法を用いることを基本とする。

<解説>

津波浸水シミュレーションは初期条件として海面の変位分布（＝初期水位）を与え、運動方程式と連続式を時間経過に伴い数値的に解くものである。このため、アウトプットとして得られる津波の水位は、この初期水位の条件に大きく左右される。

津波浸水シミュレーションにおける初期水位は、断層モデルから計算される海底面の鉛直変位分布をその直上に与える方法が一般的である。

4. 2 潮位（天文潮）

津波浸水シミュレーションにおける潮位（天文潮）は、再現シミュレーションでは対象津波来襲時の潮位、予測シミュレーションでは朔望平均満潮位とすることを基本とする。

<解説>

津波は通常、潮位が高いほど陸上へ浸水しやすく浸水域も増大する。

再現シミュレーションでは、対象津波来襲時の潮位を設定することが多い。対象津波来襲時の潮位が不明な場合には、潮位を平均潮位や T.P.0m としてもよい。

予測シミュレーションでは、浸水被害の危険側を想定するため、潮位（天文潮）は H.W.L.（朔望平均満潮位）を基本とする。

なお、河川域における初期水位については、津波の河川遡上解析の手引き（案）では、河口における潮位を出発水位として、不等流計算によって得られた水位を設定するものとされている。具体的には、再現シミュレーションでは津波が来襲した時点の河川流量により算出した河川水位、予測シミュレーションでは平水流量（185 日/365 日）により算出した河川水位とされている。

4. 3 構造物

津波の伝播過程にあって地盤より高い構造物（防波堤、堤防、胸壁、道路の盛土等）については、計算格子より幅が広いものは地形データとして、計算格子より幅が狭いものは越流条件を適用する格子境界として整理することを基本とする。

<解説>

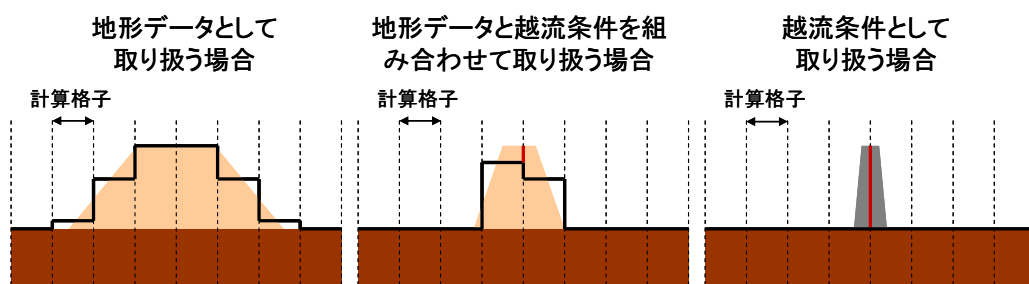
① 浸水予測の結果に与える影響について

津波の伝播過程にあって地盤より高い構造物（例えば防波堤、堤防、胸壁、道路の盛土等）は津波の遡上を阻止する効果が期待できる。ただし、水門や陸閘等の操作を必要とする構造物は、閉鎖できなかった場合には、この部分から浸水が拡大する可能性を有している。

② 構造物データ整理の考え方

津波浸水シミュレーションにおける構造物の取扱いは、下図のように、構造物の大きさと計算格子の大小関係に応じて異なる。計算格子より幅が広い構造物は、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、計算格子より幅が狭い構造物は、計算格子間に壁があるものとして整理し、その高さを越流公式で考慮することが一般的である。また、断面形を地形データとして整理しつつ、越流条件を適用する格子境界として天端高を与える方法も考えられる。

なお、カルバートや橋梁区間等については、構造物データが開口部として適切に扱われていることを確認する必要がある。また、津波の遡上が考えられる区間内に橋梁等の遡上の抵抗となる構造物がある場合は、必要に応じて遡上・せき上げに対する影響も確認する必要がある。



4. 4 粗度係数

粗度係数は、土地利用状況等をふまえて適切に設定する。

<解説>

海域での粗度係数は、0.025 程度の値を用いることが多い（津波の事典）。

陸域での粗度係数の与え方としては、市街地の構造物（家屋、道路など）による抵抗を適切な粗度係数で評価する、あるいは各構造物の占有率に応じた等価粗度係数で評価するのが一般的である（津波の事典）。前者の例として、小谷ほか（1998）は、下表のような粗度係数を用いることを提案している。

構造物を地形データとして取り扱う場合には、粗度係数を「その他（空地、緑地）」とするなどその整合に留意する必要がある。

なお、対象地震発生時の土地利用が不明な場合、あるいは対象地震による住宅等の流失が大きい場合には、土地利用状況によらず一律の粗度係数を与えることも考えられる。

表 粗度係数の設定例（小谷ほか、1998）

土地利用	粗度係数
住宅地	0.04～0.08
工場地等	0.04
農地	0.02
林地	0.03
水域	0.025
その他（空地、緑地）	0.025

4. 5 地震による地盤変動

地震による陸域の沈降が想定される場合には、断層モデルから算定される地盤変動量を、陸域の標高及び構造物の高さから差し引くことを基本とする。

<解説>

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や構造物が低くなることになる。このため、断層モデルから地盤変動量を算定し、その結果を用いて陸域の標高及び構造物の高さから差し引くことが望ましい。

再現シミュレーションで対象地震前の地形データを使用する場合及び予測シミュレーションにおいては、対象地震の断層モデルから算定される地盤変動量を、陸域の標高及び構造物の高さから差し引くことが必要である。一方、再現シミュレーションで、対象地震の直後に測量したデータを使用する場合には、そのような処理は不要である。

また、液状化による地盤の沈下については、必要に応じて考慮することが望ましい。

5. 再現シミュレーション

5. 1 目的

再現シミュレーションは、対象地震発生時の検討対象地域における津波による浸水状況を再現するとともに、対象地震の断層モデルの諸量を確定するために行う。

5. 2 津波数値解析手法

再現シミュレーションは、海底での摩擦及び移流項を考慮した非線形長波の理論式（浅水理論式）によることを基本とする。ただし、深い海域においては線形長波理論を適用してもよい。

<解説>

津波のような波長の長い波の運動は、非線形長波の理論式（浅水理論式）によって表現され、津波波源から陸上遡上に至る津波伝播の基本的な挙動を再現することができる。深い海域においては、海底での摩擦及び移流項を無視した線形長波理論を適用してもよい。

その他、ブシネスク方程式など、妥当性が検証されている適切な理論式を用いてもよい。

なお、計算の打ち切り水深については、1cm 程度を目安とする。

5. 3 構造物条件

再現シミュレーションを実施する際には、防波堤、堤防、胸壁、道路の盛土等、津波の伝播過程にあつて地盤より高い構造物を対象地震の被災実態に応じて考慮する。水門・陸閘等については、対象地震時の開閉実態に応じて考慮する。被災後の堤防形状が不明な場合には、堤防がある状態を想定して再現シミュレーションを実施する。

<解説>

対象地震での被災実態に応じて、構造物を計算条件として適切に取り扱うことで、シミュレーションの精度を向上させる。歴史地震など海岸保全施設が整備されていない時代の地震については、構造物がないものとするのが考えられる。

被災後の堤防形状が不明な場合には、堤防がある状態を想定して構造物背後の再現シミュレーションを実施することで、対象地震の断層モデルの諸量を過小に設定することが避けられ、その断層モデルを用いた予測シミュレーションにおいて浸水の範囲や深さを過小に評価することを防ぐことができる。

水門・陸閘等、操作を必要とする構造物については、対象地震時の開閉実態がわかっている場合、あるいは状況から推測可能な場合は、それに合わせることにする。

5. 4 断層モデルの調整

痕跡高を用いて再現シミュレーションの適合度を確認し、必要に応じて断層モデルの諸量を調整する。

<解説>

津波痕跡高と計算値の空間的な適合度を表す指標として、相田（1977）による幾何平均 K および幾何標準偏差 κ が用いられることが多い。

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log K_i$$
$$\log \kappa = \left[\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - n(\log K)^2 \right\} \right]^{1/2}$$

ここで、 n : 地点数、 $K=R/H_i$ 、 R_i : i 番目の地点での痕跡高、 H_i : i 番目の地点での計算値である。

幾何平均 K は痕跡高と計算値の平均的な対応関係を示しており、1 に近いほど計算値が痕跡高とよく対応していることを表す。一方、幾何標準偏差 κ は痕跡高と計算値との対応関係のばらつきを示しており、小さいほど計算値が痕跡高とよく対応していることを表す。

既存の断層モデルでの再現シミュレーションの結果と痕跡高を用いて算出した幾何平均 K を用いて、すべり量を修正することが考えられる。

2. 1 で述べた「津波から見た最適断層モデル」は、広域の沿岸全体を平均的に再現できる最適断層モデルであり、必ずしも各海岸にとって再現性をもっとも高いモデルとなっているわけではない。このため、海岸毎に断層モデルの調整の可否を判断する必要がある。

適合度の確認と断層モデル諸量の調整は、地域海岸（ユニット）毎に行うことを基本とする。[※再掲] 地域海岸（ユニット）とは、（一の海岸保全基本計画を作成すべき）一体の海岸の区分（沿岸）を「湾の形状や山付け等の自然条件」、「文献や被災履歴等の過去に発生した津波の実績津波高さ及びシミュレーションの高さ」等から、同一の津波外力を設定しようと想定される一連のまとまりのある海岸線に分割したものをいう。

6. 予測シミュレーション

6. 1 目的

予測シミュレーションは、対象地震発生時の津波による浸水状況を予測するとともに、必要に応じて各種対策の効果を検討するために行う。

6. 2 津波数値解析手法

予測シミュレーションは、再現シミュレーションにより諸量を調整した断層モデルに基づいて、同一の解析手法で行うものとする。

ただし、想定地震のように再現シミュレーションを行えない場合は、この限りではない。

<解説>

予測シミュレーションに用いる断層モデルは再現シミュレーションでチューニングされたものであるので、予測シミュレーションは再現シミュレーションと同一の解析手法で行われる必要がある。

6. 3 構造物条件

予測シミュレーションを実施する際には、地震動や津波による構造物の被災を考慮することを基本とする。また、水門・陸閘等については、耐震性を有し自動化された施設、常時閉鎖の施設、耐震性を有し津波到達時間より早く閉鎖できると考えられる施設については閉鎖状態として、それ以外の施設は開放状態と取り扱う。

<解説>

海岸堤防等の構造物は設計値以下の地震動や津波に対しては所要の安全性を有するが、設計値以上の地震動、津波では被災する可能性がある。このため、地震動や津波による構造物の被災を考慮して、予測シミュレーションを行うことを基本とする。

地震動による構造物の被害については、適切な耐震解析法に基づいて行われた既存の照査結果を用いて、津波浸水シミュレーションにおける条件設定を行う。海岸保全施設の耐震解析法は、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」では以下のように規定されている。

- ・レベル1 地震動に対する耐震性能は、震度法による耐震設計により安全性が確保されていることで満足されているものとみなせる。ただし、液状化が発生すると判定される場合には、要求する耐震性能の高さに応じて適切に照査するものとする。

- ・レベル2 地震動に対する耐震性能は、変形、応力、ひずみ量等を精度よく評価できる手法により照査することができる。

また、「海岸保全施設等耐震点検マニュアル」には、地震による海岸堤防等の沈下量を想定する手法が示されている。

津波による構造物の破壊については、大きく分けて次の3ケースが考えられるが、目的に応じてこれを選択するものとする。

	構造物条件	
ケース1	破壊なし	
ケース2	条件に応じて破壊	越流した時点
		ある流速に達した時点
ケース3	構造物を考慮しない	

最大の浸水範囲を得るには、津波が構造物を越流し始めた時点で破壊するものとして取り扱うことが考えられる。

なお、津波が河川を遡上する場合など、津波が構造物を越えても直ちに構造物が破壊しない場合の方が、浸水被害が大きくなる場合もあり得ることに留意が必要である。

6. 4 シミュレーションにおける各種対策の条件設定

予測シミュレーションにおいて、計算格子より幅が広い盛土等は地形データとして、計算格子より幅が狭い二線堤等は越流条件を適用する構造物として取り扱うものとする。

<解説>

二線堤、盛土等の堤内地における各種対策は、4. 4に従って設定する。

7. 計算結果の出力

7. 1 出力事項

陸上での津波の遡上状況がわかるように、津波浸水シミュレーションの結果として、最大浸水深、最大流速等の平面分布や、代表断面における最高水位の岸沖方向分布、代表地点における水位等の時系列などを出力するものとする。

参考文献

- 相田勇：三陸沖の古い津波のシミュレーション，地震研究所彙報，Vol.52, pp.71-101, 1977.
- 岩手県：岩手県地震・津波シミュレーション及び被害想定調査に関する報告書（概要版），2004. (<http://www.pref.iwate.jp/~hp010801/tsunami/yosokuzu/houkokusyo.pdf> から閲覧可)
- 海岸保全施設技術研究会編：海岸保全施設の技術上の基準・同解説，2004.
- 小谷美佐，今村文彦，首藤伸夫：GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法，海岸工学論文集，第 45 巻，pp.356-360, 1998.
- 財団法人国土技術研究センター：津波の河川遡上解析の手引き（案），20p., 2007. (<http://www.jice.or.jp/siryo/t1/pdf/tsunami.pdf>)
- 首藤伸夫ほか編：津波の事典，朝倉書店，350p., 2007.
- 中央防災会議日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会：日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会報告，2006. (<http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaikou/index.html> から閲覧可)
- 土木学会原子力土木委員会津波評価部会：原子力発電所の津波評価技術，2002. (<http://committees.jsce.or.jp/ceofnp/node/5> から閲覧可)
- 内閣府（防災担当）・農林水産省農村振興局・農林水産省水産庁・国土交通省河川局・国土交通省港湾局：津波・高潮ハザードマップマニュアル，128p., 2004.
- 農林水産省構造改善局・水産庁・運輸省港湾局・建設省河川局：海岸保全施設等耐震点検マニュアル，1996.
- 長谷川賢一，稲垣和男，鈴木孝夫，首藤伸夫：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，第 381 号，II-7, pp.111-120, 1987.
- 宮城県防災会議地震対策等専門部会：宮城県地震被害想定調査に関する報告書，2004. (http://www.pref.miyagi.jp/kikitaisaku/jishin_chishiki/3higaishin/sanzihigaitop.htm から閲覧可)

<問い合わせ先>

国土交通省

河川局砂防部保全課海岸室（全般について）

TEL: 03-5253-8472

国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室（技術的内容について）

TEL: 029-864-4869