

東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所

第二種廃棄物埋設施設事業許可申請

第二種廃棄物埋設施設の位置，構造及び

設備の基準に関する規則第五条（津波

による損傷の防止）への適合性について

平成 30 年 7 月 31 日
日本原子力発電株式会社

目 次

はじめに	1
1. 評価の考え方	6
1.1 第五条に対する評価の考え方	
2. 津波	7
2.1 文献調査	
2.1.1 敷地周辺に影響を及ぼした過去の津波	
2.1.2 津波堆積物調査	
2.1.3 行政機関による津波評価	
2.2 想定津波の選定	
2.3 津波評価	
2.4 参考文献	

はじめに

本資料は、東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設施設事業許可の記載内容について、「第二種廃棄物埋設施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」（以下，「第二種埋設許可基準規則」という。）第五条の「廃棄物埋設施設は，当該廃棄物埋設施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全性が損なわれるおそれがないものでなければならない。」に対する適合性を示すために，「第二種廃棄物埋設施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（以下，「第二種埋設許可基準解釈」という。）に基づき評価した内容を説明するものである。

第二種埋設許可基準規則及び第二種埋設許可基準解釈の要求事項を第 1 表及び第 2 表に示す。

第 1 表 第二種埋設許可基準規則及び第二種埋設許可基準解釈の要求事項（第五条関連）

第二種埋設許可基準規則記載事項	第二種埋設許可基準解釈記載事項
（津波による損傷の防止） 第五条 廃棄物埋設施設は、当該廃棄物埋設施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全性が損なわれるおそれがないものでなければならない。	第 5 条（津波による損傷の防止） 1 第 5 条に規定する「大きな影響を及ぼすおそれがある津波」は、敷地及びその周辺地域における過去の記録，現地調査の結果，行政機関等が実施した津波シミュレーションの結果及び最新の科学的・技術的知見等を踏まえ，影響が最も大きいものとする。 2 第 5 条に規定する「安全性が損なわれるおそれがない」とは，廃棄物埋設地については，ピット処分に係る埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から埋設の終了までの間においては，閉じ込めの機能及び遮蔽の機能が損なわれないことを，ピット処分に係る埋設の終了後及びトレンチ処分に係る埋設する放射性廃棄物の受入れの開始以後においては，移行抑制の機能及び遮蔽の機能が損なわれないことをいい，廃棄物埋設地の附属施設については，核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物を取り扱っている期間において，閉じ込めの機能及び遮蔽の機能が損なわれないことをいう。 3 第 5 条の「安全性が損なわれるおそれがないものでなければならない」を満たすために，上記 1 の津波に対する廃棄物埋設施設の設計に当たっては，以下の方針によること。 一 廃棄物埋設施設は，津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置すること。 二 津波による遡上波が到達する高さにある場合には，遡上波によって閉じ込め，移行抑制及び遮蔽の安全機能を損なうおそれがないこと。「安全機能を損なうおそれがないこと」とは，遡上波による安全機能への影響を評価し，廃棄物埋設施設全体として安全性が確保されることをいう。なお，「安全機能を損なうおそれがないこと」には，防潮堤等の津波防護施設及び浸水防止設備を設置

第二種埋設許可基準規則記載事項	第二種埋設許可基準解釈記載事項
	して、遡上波の到達又は流入を防止することを含む。 4 上記3の遡上波の到達防止に当たっては、実用炉設置許可基準解釈第5条3の一の②の方針を参考とすること。 5 上記3の二の津波防護施設及び浸水防止設備並びに津波監視設備を設置する場合には、実用炉設置許可基準解釈第5条3の二及び五から七までの方針を準用すること。

第2表 第二種埋設許可基準規則及び第二種埋設許可基準解釈の要求事項（第四条関連）

第二種埋設許可基準規則記載事項	第二種埋設許可基準解釈記載事項
（地震による損傷の防止） 第四条 廃棄物埋設施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。 2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある廃棄物埋設施設の安全性を確保するために必要な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に応じて算定しなければならない。	第4条（地震による損傷の防止） 1 第1項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、ある地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲の設計がなされることをいう。この場合、上記の「弾性範囲の設計」とは、施設を弾性体とみなして応力解析を行い、施設各部の応力を許容限界以下に留めることをいう。また、この場合、上記の「許容限界」とは、必ずしも厳密な弾性限界ではなく、局部的に弾性限界を超える場合を容認しつつも施設全体としておおむね弾性範囲に留まり得ることをいう。 2 第2項に規定する「地震の発生によって生ずるおそれがある廃棄物埋設施設の安全性を確保するために必要な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」とは、地震により発生するおそれがある廃棄物埋設施設の安全性を確保するために必要な機能（以下「安全機能」という。）の喪失（地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。）及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度（以下「耐震重

第二種埋設許可基準規則記載事項	第二種埋設許可基準解釈記載事項
	要度」という。)をいう。廃棄物埋設施設は、耐震重要度に応じて、以下のクラスに分類するものとする。 一 Bクラス 自ら放射性物質を内蔵している施設若しくは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又は地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その破損により公衆に与える放射線の影響が事業規則第1条の2第2項第9号に規定する「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でないものをいう。 二 Cクラス 廃棄物埋設施設のうち、Bクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設をいう。 3 第1項に規定する「地震力に十分に耐えること」を満たすために、廃棄物埋設施設の耐震設計に当たっては、以下の方針によること。 一 静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えること。 二 廃棄物埋設地と廃棄物埋設地の附属施設のうち建物・構築物については、常時作用している荷重及び操業中に作用する荷重と静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とすること。 三 廃棄物埋設地の附属施設のうち機器・配管系については、操業中の荷重と静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、応答が全体的におおむね弾性状態に留まること。 4 第2項に規定する「地震力」の算定に当たっては、「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

第二種埋設許可基準規則記載事項	第二種埋設許可基準解釈記載事項
	の解釈」（原規技発第1306193号（平成25年6月19日原子力規制委員会決定））（以下「実用炉設置許可基準解釈」という。）第4条4の方法を準用すること。

1. 評価の考え方

1.1 第五条に対する評価の考え方

(1) 要求事項

廃棄物埋設施設は、当該廃棄物埋設施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全性が損なわれるおそれがないものでなければならない。

(2) 評価方針

第二種埋設許可基準解釈第5条第3項に基づき、廃棄物埋設施設は、津波による遡上波が到達しない十分高い場所であることを確認する。

また、津波による遡上波が到達する高さにある場合には、遡上波によって閉じ込め、移行抑制及び遮蔽の安全機能を損なうおそれがないようにする。

(3) 評価の考え方

第二種埋設許可基準解釈第4条（地震による損傷の防止）から、廃棄物埋設施設は耐震重要度Cクラスに属する施設であり、Cクラスの施設で考慮する地震力に対する安全性が要求される。Cクラスは「Bクラスに属する以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設」とされている。これを踏まえ、津波については一般産業施設又は公共施設で考慮する津波に対する安全性を評価する。

安全性を評価する津波については、敷地及びその周辺地域における過去の記録、現地調査の結果、行政機関等が実施した津波シミュレーションの結果及び最新の科学的・技術的知見等を踏まえ、影響が最も大きいものとする。

2. 津波

2.1 文献調査

2.1.1 敷地周辺に影響を及ぼした過去の津波

敷地周辺の既往津波について文献調査を実施した。既往津波に関する主な文献としては、土木学会（2016）、渡辺（1985）、渡辺（1998）、宇佐美他（2013）、宇津他編（2001）、羽鳥（1975）、羽鳥（1987）、竹内他（2007）、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ（2012）、国立天文台（2014）、気象庁の発表等がある。

文献調査によると、敷地周辺に影響を与えたと考えられる津波には、1677 年延宝房総沖地震津波、1960 年チリ地震津波、2011 年東北地方太平洋沖地震津波等がある。

竹内他（2007）によると、1677 年延宝房総沖地震津波は福島県、茨城県沿岸では記録が残っている最大の津波であり、水戸紀年、大洗地方史、玄蕃先代集乾等の史料による建物被害等の記載から津波浸水高を推定しており、ひたちなか市の浸水高は 4.5～5.5m としている。

チリ津波合同調査班（1961）によると、1960 年チリ地震津波は茨城県久慈港における痕跡高で約 2.3m とされている。

2011 年東北地方太平洋沖地震津波については、本施設に隣接する東海第二発電所での痕跡高は概ね 5～6m（最大 6.5m）であった。既往津波に関する文献調査結果を第 2-1 表及び第 2-1, 2 図に示す。

2.1.2 津波堆積物調査

津波堆積物に関する文献調査を実施した結果、茨城県日立市十王町及び千葉県銚子市で津波堆積物が確認されている（澤井（2012）、Sawai et al.（2012）及びYanagisawa et al.（2016））。

澤井（2012）及びSawai et al.（2012）によると、日立市十王町で確認された津波堆積物から 3 回のイベントが推定され、3 回のイベントのうち、文献記録と対比できるのは、1677 年延宝房総沖地震津波のみである。

2.1.3 行政機関による津波評価

行政機関による津波評価のうち、「一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設」に要求される津波について、文献調査を実施した。

農林水産省・国土交通省（2011）及び中央防災会議（2011）によると、今後の津波対策を構築するにあたっては、基本的に二つのレベルの津波を想定する必要があるとしている。二つのレベルの津波として、比較的頻度の高い津波（L 1 津波）と最大クラスの津波（L 2 津波）がある。L 1 津波とは、発生頻度が

高く（数十年から百数十年の頻度）、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波であり、堤防高の設定に用いられるものである。L 2 津波とは、発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす津波であり、津波浸水想定からソフト対策を講じるために用いられると示されている。津波対策を構築するにあたって想定すべき津波レベルと対策の基本的考え方を第 2-3 図に示す。

茨城県（2012）では、過去に発生した津波の実績津波高さと津波の発生年を整理した結果から L 1 津波として 1703 年元禄地震津波及び 1960 年チリ地震津波を対象津波として設定し、数値シミュレーションを実施している。なお、L 2 津波として東北地方太平洋沖地震津波及び H23 想定津波を対象津波として設定し、数値シミュレーションを実施している。H23 想定津波は平成 19 年に茨城県で想定した津波である「延宝房総沖地震津波」の波源域等を参考にした地震津波である。地域海岸（一連の海岸線や湾）における設計津波の対象津波群の選定を第 2-4 図、茨城県（2012）による L 1 津波の対象津波を第 2-5 図、茨城県（2012）による L 2 津波の対象津波を第 2-6 図、数値シミュレーション結果を第 2-7 図、設計津波の水位（仮の防護ライン位置で対象津波のせり上がりを考慮した水位）の結果を第 2-8 図に示す。

これによると、L 1 津波のうち本施設が位置する久慈漁港海岸から豊岡海岸において水位が高い波源は 1960 年チリ地震津波であり、その水位は T.P. + 3.8m である。

2.2 想定津波の選定

文献調査の結果から、当該廃棄物埋設施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波として敷地周辺に影響を及ぼした過去の津波である 2011 年東北地方太平洋沖地震津波を選定した。

2.3 津波評価

2011 年東北地方太平洋沖地震津波の痕跡高について、観測値を補完するために再現解析を実施した。2011 年東北地方太平洋沖地震津波の再現性は、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ（2012）及び経済産業省（2011）に示される 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の痕跡高さをを用いて評価を実施した。

再現性の指標としては、相田（1977）による痕跡高さと津波シミュレーションにより計算された津波高さとの比から求める幾何学平均値 K 及びバラツキを表す指標 κ を用いることとし、土木学会（2016）において再現性の目安とされている「 $0.95 < K < 1.05$, $\kappa < 1.45$ 」を参考とした。津波に伴う水位変動の

評価は、土木学会（2016）を参考に実施した。

設定した特性化波源モデルは、青森県北部から千葉県南部の痕跡高さに対して計算値の方が大きくなっているが（幾何平均 $K=0.94$ ），幾何標準偏差（ $\kappa=1.43$ ）は土木学会（2016）の目安値を満足している。また、発電所においても痕跡高に対して計算値が大きくなっているが（幾何平均 $K=0.89$ ），幾何標準偏差（ $\kappa=1.08$ ）は土木学会（2016）の目安値を満足している。以上のことから、2011 年東北地方太平洋沖地震津波の再現解析は妥当であると判断される。

特性化波源モデルの諸元を第 2-9 図、数値シミュレーションの計算条件を第 2-2 表、数値シミュレーションの計算領域及び計算格子を第 2-10 図、数値シミュレーションの地形モデルを第 2-11 図、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ（2012）及び経済産業省（2011）に示される痕跡高さと津波シミュレーションにより計算された津波高さとの比較を第 2-12 図に示す。

当社による 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の再現の数値シミュレーションの結果、本施設に隣接する東海第二発電所の海岸沿いの最高水位は T.P. + 7.9m（施設まで約 300m 離れた地点）となった。評価結果を第 2-13 図に示す。

以上のことから、本施設の津波に対する安全性を評価する水位を T.P. + 7.9m とした。

本施設は T.P. 約 +8.0m に設置されており、津波による遡上波は到達しない。

また、東海第二発電所の新規制基準対応として防潮堤の設置を予定しているが、第 2-13、14 図に示すとおり津波による遡上波は海岸付近に限られていることから、防潮堤設置に伴う遡上波の反射の影響を考慮したとしても、本施設に津波による遡上波は到達しないと判断される。施設位置図を第 2-13 図に示す。

2.4 参考文献

- (1) 土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会（2016）：原子力発電所の津波評価技術 2016
- (2) 渡辺偉夫（1985）：日本被害津波総覧，東京大学出版会
- (3) 渡辺偉夫（1998）：日本被害津波総覧 [第 2 版]，東京大学出版会
- (4) 宇佐美龍夫，石井寿，今村隆正，武村雅之，松浦律子（2013）：日本被害地震総覧 599-2012，東京大学出版会
- (5) 宇津徳治・嶋悦三・吉井敏尅・山科健一郎編（2001）：地震の事典[第 2 版]，朝倉書店，P569-642
- (6) 羽鳥徳太郎（1975）：房総沖における津波の波源－延宝（1677 年）・元禄（1703 年）・1953 年房総沖津波の規模と波源域の推定－，地震研究所彙報，vol. 50，P83-91

- (7) 羽鳥徳太郎 (1987) : 寛政 5 年 (1793 年) 宮城沖地震における震度・津波分布, 地震研究所彙報, vol. 62, P297-309
- (8) 竹内仁・藤良太郎・三村信男・今村文彦・佐竹健治・都司嘉宣・宝地兼次・松浦健郎 (2007) : 延宝房総沖地震津波の千葉県沿岸～福島県沿岸での痕跡高調査, 歴史地震, 第 22 号, P53-59
- (9) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (2012) :
<http://www.coastal.jp/ttjt/>
- (10) 国立天文台編 (2014) : 理科年表 平成 26 年, 丸善出版
- (11) チリ津波合同調査班 (1961) : 1960 年 5 月 24 日チリ地震津波に関する論文及び報告, 東京大学地震研究所
- (12) 澤井祐紀 (2012) : 堆積物の記録から明らかになった日本海溝の巨大津波－茨城県における痕跡－, A F E R C NEWS, No. 39/2012 年 11 月号
- (13) Sawai, Y., Y. Namegaya, Y. Okamura, K. Satake, and M. Shishikura (2012) : Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology, Geophysical Research Letters, Vol. 39, L21309.
- (14) H. Yanagisawa, K. Goto, D. Sugawara, K. Kanamaru, N. Iwamoto, and Y. Takamori (2016) : Tsunami earthquake can occur elsewhere along the Japan Trench-Historical and geological evidence for the 1677 earthquake and tsunami, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, RESEARCH ARTICLE, 10.1002/2015JB012617
- (15) 農林水産省・国土交通省 (2011) : 「設計津波の水位の設計方法等について」 (平成 23 年 7 月 8 日)
- (16) 中央防災会議 (2011) : 「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」報告 (平成 23 年 9 月 28 日)
- (17) 茨城沿岸津波対策検討委員会 (2012) :
<http://www.pref.ibaraki.jp/doboku/kasen/coast/042200.html>
- (18) 経済産業省 (2011) : 平成 23 年東北地方太平洋沖地震における女川原子力発電所及び東海第二発電所の地震観測記録及び津波波高記録について,
www.ikata-tomeru.jp/wp-content/.../koudai116gousyo.pdf
- (19) 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.
- (20) L. MANSINHA AND D. E. SMYLLIE (1971) : THE DISPLACEMENT FIELDS OF INCLINED FAULTS, Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 61, No5, PP1433-1440.
- (21) 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 第 381 号/
II-7, PP. 111-120

- (22) 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, 52p.
- (23) 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, 海岸工学論文集, 第 45 巻, 土木学会, PP. 356-360
- (24) 本間仁 (1940) : 低溢流堰堤の流量係数, 土木学会誌, 第 26 巻, pp635-
645
- (25) 国土交通省 (2012) : 国土交通省社会資本整備審議会 第 48 回河川分科
会 資料 2-3 茨城沿岸における津波浸水想定説明資料

第2-1表 既往津波の文献調査 (敷地周辺に影響を及ぼした過去の津波)

太平洋沿岸に影響を及ぼした主な津波の一覧表（地震規模8.0以上（遠地津波については地震規模9.0以上）を抜粋）

発生年月日 元号	波源域	地震規模 ¹⁾		津波規模 ²⁾ m	地震・津波の概要 ³⁾	敷地への影響
		Mj	Mw			
869. 7. 13 貞観11	三陸沖	8. 3 ±1/4	—	4, — [4]	三陸沿岸：城郭・倉庫・門櫓・垣壁など崩れ落ち倒潰するもの無数。津波が多賀城下を襲い、溺死約1千。流光星のごとく隠映するという。三陸沖の巨大地震とみられる。	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
1611. 12. 2 慶長16	三陸沖	≒8. 1	8. 3 ⁴⁾	4, — [3-4]	三陸沿岸および北海道東岸：三陸地方で強震。震害は軽く、津波の被害が大きかった。伊達領内で死1783、南部・津軽で人馬の死3千余という。三陸沿岸で家屋の流出が多く、北海道東部でも溺死が多かった。1933年三陸地震津波に似ている。	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
1677. 11. 4 延宝5	房総沖	≒8. 0	8. 2 ⁴⁾	2, — [—]	磐城・常陸・安房・上総・下総：上旬より地震が多かった。磐城から房総にかけて津波があり、小名浜・中之作・薄磯・四倉・江名・豊間などで死・不明130余、水戸領内で溺死36、房総で溺死246余、奥州岩沼領で死123	茨城県那珂湊（現ひたちなか市）で4. 5～5. 5m
1700. 1. 26 元禄12	北米 北西部沖	—	9. 0	—, —	北米北西部沖（カスケード地帯）：三陸～紀伊半島にかけて津波が来た。各地の津波の高さは岩手県宮古3m、同大槌で2m、茨城県那珂湊で約2mと推定される記録がある。宮古で津波の被害があったという。	茨城県那珂湊（現ひたちなか市）で約2m
1793. 2. 17 寛政5	三陸沖	8. 0～8. 4	—	2, <u>2. 5</u> [2]	陸前・陸中・磐城：仙台領内で家屋損壊1千余、死12。沿岸に津波が来て、全体で家潰流失1730余、船流破33、死44以上。余震が多かった。相馬・いわきにおいて引きで津波がはじまっているのは1896年明治三陸地震と似ている。	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
1896. 6. 15 明治29	三陸沖	8・1/4	8. 3 ⁴⁾	4, <u>3. 5</u> [3-4]	三陸沖：『明治三陸地震津波』：震害はない。津波が北海道より牡鹿半島にいたる海岸に襲来し、死者総数は21959（青森343、岩手18158、宮城3452、北海道6）。家屋流失全半潰8～9千、船の被害約7千。波高は、吉浜24. 4m、綾里38. 2m、田老14. 6mなど。	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
1933. 3. 3 昭和8	三陸沖	8. 1	8. 4	3, <u>3</u>	三陸沖：『三陸地震津波』：震害は少なかった。津波が太平洋沿岸を襲い、三陸沿岸で被害は甚大。死・不明3064、家屋流失4034、倒潰1817、浸水4018。波高は綾里湾で28. 7mにも達した。日本海溝付近で発生した巨大な正断層型地震と考えられている。	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
1952. 11. 4 昭和27	カムチャツカ半島 南東沖	—	9. 0	1, —	カムチャツカ半島南東沖：『カムチャツカ津波』：太平洋沿岸に津波、波高は1～3m程度。広範囲で家屋の浸水があり、三陸沿岸では漁業関係の被害があった。	福島県沿岸で約0. 5～1. 5m
1960. 5. 22 昭和35	チリ 南部沖	—	9. 5	2～3, —	チリ南部沖：『チリ地震津波』：津波が日本各地に襲来、波高は三陸沿岸で5～6m、その他で3～4m。北海道南岸・三陸沿岸・志摩半島付近で被害が大きく、沖縄でも被害があった。日本全体で死・不明142（うち沖縄で3）、家屋全壊1500余、半壊2千余	茨城県久慈港で約2. 3m
1964. 3. 27 昭和39	アラスカ 湾	—	9. 2	0, —	アラスカ湾：『アラスカ地震津波』：津波は太平洋沿岸各地に波及した。日本沿岸の検潮記録によると、津波の高さは三陸沿岸南部でやや高かった。このため、この沿岸で浅海漁業施設に若干の被害があった。	小名浜で0. 35m、銚子で0. 36m
1968. 5. 16 昭和43	青森県 東方沖	7. 9	8. 2	2, <u>2. 5</u>	青森県東方沖：『1968年十勝沖地震』：青森を中心に北海道南部・東北地方に被害。死52、傷330、建物全壊673、半壊3004。青森県下で道路損壊も多かった。津波があり、三陸沿岸3～5m、浸水529、船舶流失沈没127。コンクリート造建築の被害が目立った。	敷地付近への影響を示す津波の痕跡はない。
2011. 3. 11 平成23	三陸沖	8. 4	9. 0	—, 4	東北沖：『平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震、東日本大震災』：日本海溝沿いの沈み込み帯の大部分、三陸沖中部から茨城県沖までのプレート境界を震源域とする逆断層型超巨大地震。3月9日にM7. 3(Mw7. 4)の前震、震源域内や付近の余震・誘発地震はM7. 0以上が6回、M6. 0以上が97回、死18493、不明2683、傷6217、住家全壊128801、半壊269675。死者の90%以上が水死で、被害の多くは巨大津波（現地調査によれば最大約40m）によるもの。	発電所で概ね5～6m（最大6. 5m）

- 1) 地震規模は、宇佐美他(2013)を参照した。
- 2) 津波規模mは、宇佐美他(2013)による。下線付き数字は羽鳥による値とされている。[]内の値は羽鳥(1975)による値を参照した。
- 3) 地震・津波の概要は、宇佐美他(2013)、渡辺(1998)及び国立天文台(2014)を参照した。
- 4) 土木学会(2016)を参照した。

第2-2表(1) 数値シミュレーションの計算条件
(広域の再現解析)

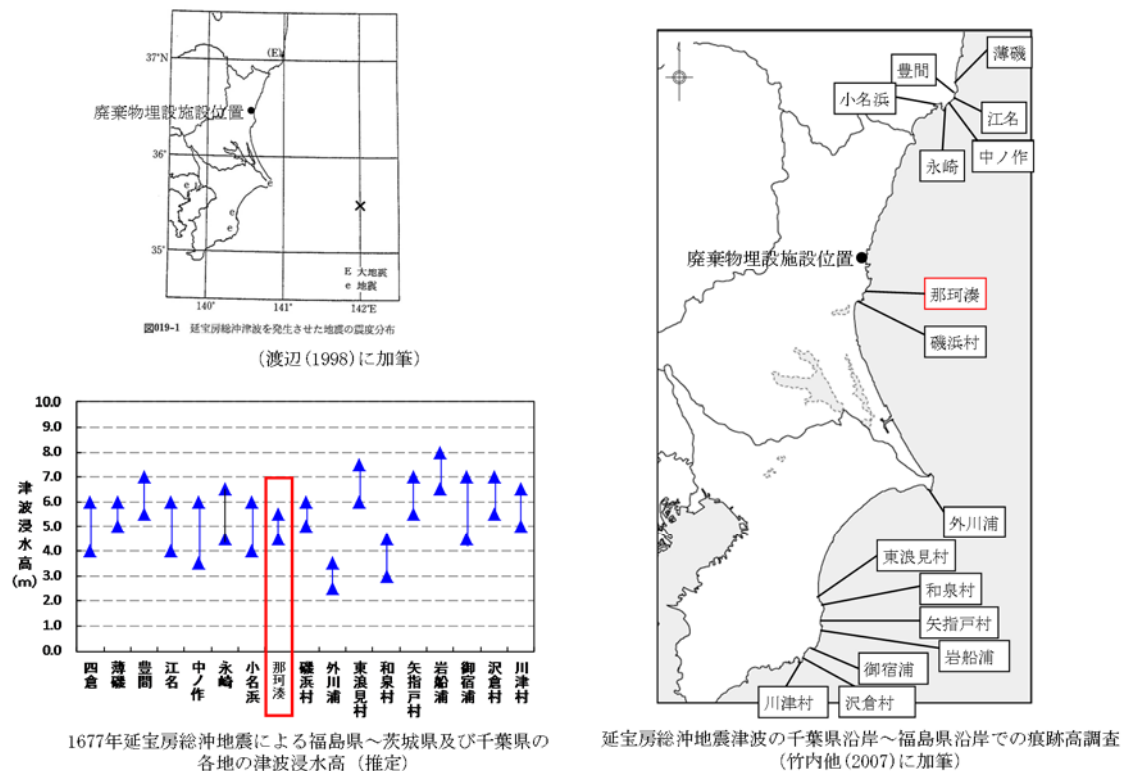
項目	条件	備考
計算領域	北海道から千葉県総付近までの太平洋 (南北約1,300km, 東西約1,200km)	
メッシュ構成	沖合1,350m→450m→150m→沿岸50m	長谷川他 (1987)
基礎方程式	非線形長波理論	後藤・小川 (1982) の方法
計算スキーム	スタッガード格子, リープ・フロッグ法	後藤・小川 (1982) の方法
初期変位量	Mansinha and Smylie (1971) の方法	
境界条件	沖側：後藤・小川 (1982) の自由透過の条件 陸側：計算格子間隔50m領域は小谷他 (1998) の陸上遡上境界条件 それ以外は完全反射条件	
越流条件	防波堤：本間公式 (1940) 護岸：相田公式 (1977)	
海底摩擦係数	マニングの粗度係数 ($n=0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$)	
水平渦動粘性係数	考慮していない ($K_h=0$)	
計算時間間隔	$\Delta t=0.5$ 秒	C.F.L. 条件を満たすように設定
計算時間	津波発生後240分間	十分な計算時間となるように設定
潮位条件	T.P. -0.4m	地震発生時の潮位

津波水位＝潮位＋水位変動量＋2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動量

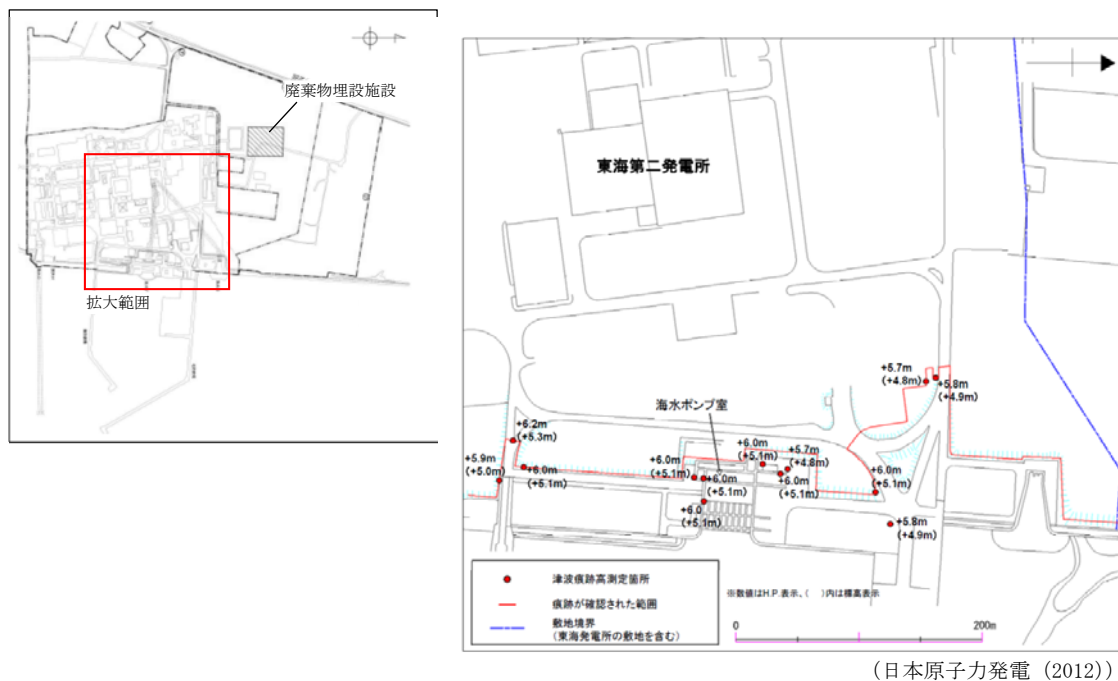
第2-2表(2) 数値シミュレーションの計算条件
(敷地周辺の再現解析)

項目	条件	備考
計算領域	北海道から千葉県総付近までの太平洋 (南北約1,300km, 東西約800km)	
メッシュ構成	沖合4,320m→2,160m→720m→沿岸域240m→発電所周辺 80m→40m→20m→10m→5m	長谷川他 (1987)
基礎方程式	非線形長波理論	後藤・小川 (1982) の方法
計算スキーム	スタッガード格子, リープ・フロッグ法	後藤・小川 (1982) の方法
初期変位量	Mansinha and Smylie (1971) の方法	
境界条件	沖側：後藤・小川 (1982) の自由透過の条件 陸側：敷地周辺 (計算格子間隔80m～5m) の領域は小谷 他 (1998) の陸上遡上境界条件 それ以外は完全反射条件	
越流条件	防波堤：本間公式 (1940) 護岸：相田公式 (1977)	
海底摩擦係数	マニングの粗度係数 ($n=0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$)	
水平渦動粘性係数	考慮していない ($K_h=0$)	
計算時間間隔	$\Delta t=0.05$ 秒	C.F.L. 条件を満たすように設定
計算時間	津波発生後240分間	十分な計算時間となるように設定
潮位条件	T.P. -0.49m	地震発生時の日立港潮位

津波水位＝潮位＋水位変動量＋2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動量



第 2-1 図 既往津波の文献調査
(1677 年延宝房総沖地震津波の痕跡高)



第 2-2 図 既往津波の文献調査
(2011 年東北地方太平洋沖地震津波による発電所の痕跡高)

津波対策を構築するにあたって想定すべき津波レベルと対策の基本的考え方

今後の津波対策を構築するにあたっては、基本的に二つのレベルの津波を想定する必要がある。

比較的頻度の高い津波（L1津波）

- 津波レベル
 - 発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波（数十年から百数十年の頻度）
- 基本的考え方
 - 人命・住民財産の保護、地域経済の確保の観点から、防護施設等を整備
 - 防護施設等については、発生頻度の高い津波高に対して整備を進めるとともに、設計対象の津波高を超えた場合でも、施設の効果に粘り強く発揮できるような構造物への改良も検討していく。

→ 堤防整備等の目安となる「目指すべき堤防高」を設定

最大クラスの津波（L2津波）

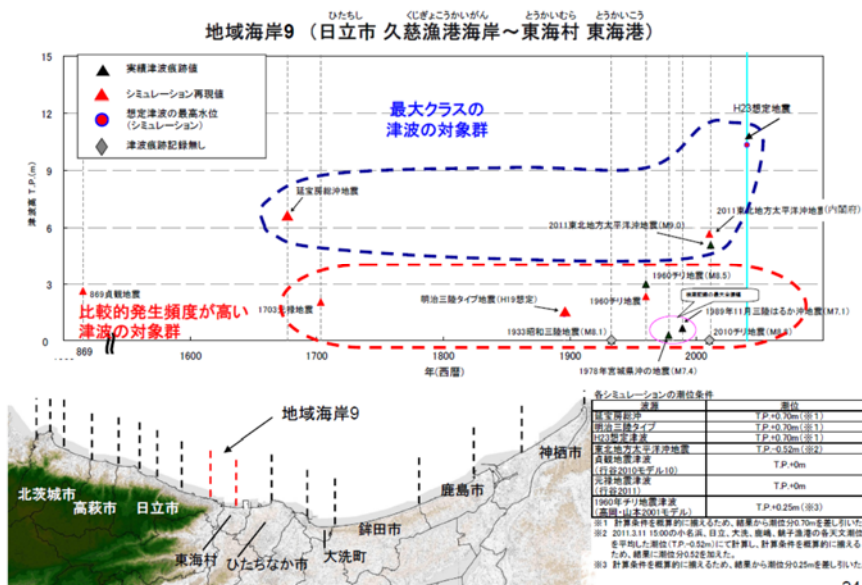
- 津波レベル
 - 発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす津波
- 基本的考え方
 - 住民等の生命を守ることを最優先とし、住民の避難を軸にとりうる手段を尽くした総合的な対策を確立していく。
 - 被害の最小化を主眼とする「減災」の考え方に基づき、対策を講ずることが重要である。そのため、防護施設等のハード対策によって津波による被害をできるだけ軽減するとともに、それを超える津波に対しては、ハザードマップの整備や避難路の確保など、避難することを中心とするソフト対策を実施していく。

→ ソフト対策を講じるため基礎資料の「津波浸水想定」を設定

茨城県（2012）

第2-3図 津波対策を構築するにあたって想定すべき津波レベルと対策の基本的考え方

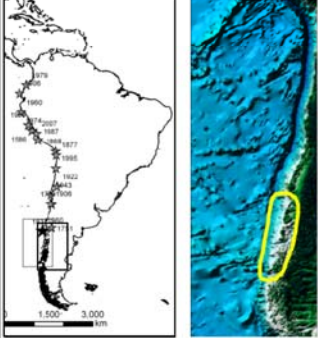
最大クラスの津波の対象津波群の選定（地域海岸9）



24

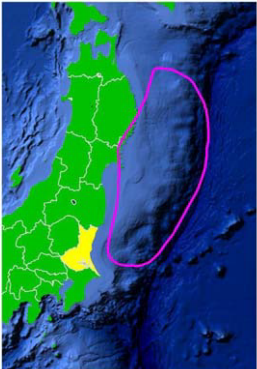
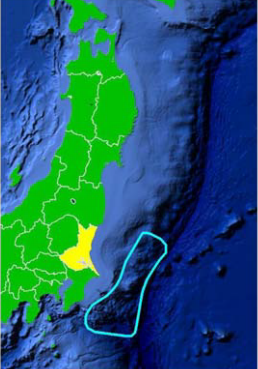
国土交通省（2012）

第2-4図 地域海岸9における設計津波の対象津波群の選定

対象津波		1703 年元禄地震津波	1960 年チリ地震津波
マグニチュード		Mw = 8.1	Mw = 9.5
使用モデル		行谷ほか(2011)モデル C	高岡ほか(2001)モデル
概 要	説 明	元禄 16 年 11 月 23 日(西暦 1703 年 12 月 31 日)に南関東で発生した地震による津波。 地震や津波によって南関東を中心に大きな被害をもたらした。	昭和 35 年(西暦 1960 年)5 月 21 日に南米チリ沖で発生した地震による津波。 発生より約 22 時間後に日本沿岸に到達し、各地に大きな被害をもたらした遠地津波である。
	震 源 域		

茨城県 (2012)

第 2-5 図 L 1 津波の対象津波

対象津波		東北地方太平洋沖地震津波	H23 想定津波
マグニチュード		Mw = 9.0 Mt = 9.1~9.4	Mw = 8.4 Mt = 8.6~9.0
使用モデル		中央防災会議モデル	茨城県モデル
概 要	説 明	平成 23 年 3 月 11 日、三陸沖を震源とした地震により発生した津波。 東日本大震災を引き起こし、東北から関東を中心に甚大な被害をもたらした津波の再来を想定。	地震調査研究推進本部から平成 23 年 11 月に公表された「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について」を基に想定した地震。 (平成 19 年に茨城県で想定した津波「延宝房総沖地震津波」の震源域等を参考にした地震。)
	震 源 域		

茨城県 (2012)

第 2-6 図 L 2 津波の対象津波

最大クラスの津波の対象津波群

海岸線における津波の高さ(単位:T.P.+m)

※対象津波群の中から2つの最大クラスの津波を選定

地域海岸	海岸名	最大クラスの津波の津波群			(参考)比較的生じ得る津波の津波群		
		福島原発沖地震	東北地方太平洋沖地震	H23想定地震	元禄地震	明治三陸タイプ地震	チリ地震(1960)
地域海岸1	平沼海岸 ~ 五浦海岸	6.9	7.8	10.7	1.7	2.0	2.4
地域海岸2	大津浦海岸 ~ 神田上海岸	7.0	6.1	10.1	1.3	1.5	1.8
地域海岸3	磯原海岸 ~ 小野矢宿海岸	6.0	7.0	7.7	1.3	1.7	1.8
地域海岸4	赤浜海岸 ~ 高浜海岸	6.2	6.3	7.4	1.3	1.5	2.0
地域海岸5	石滝海岸 ~ 川尻海岸	6.7	6.1	8.0	1.4	1.7	2.2
地域海岸6	川尻海岸 ~ 日高津海岸	6.1	5.6	9.0	1.5	1.2	1.8
地域海岸7	日高津海岸 ~ 多賀海岸	7.1	5.4	10.9	1.7	1.4	2.0
地域海岸8	多賀海岸 ~ 水木津海岸	7.1	6.4	10.6	1.8	1.3	1.8
地域海岸9	久慈津海岸 ~ 豊岡海岸	6.5	5.7	10.3	2.1	1.4	2.3
地域海岸10	常陸那珂地区 ~ 磯崎津海岸	5.9	5.2	10.0	1.8	1.2	2.4
地域海岸11	磯崎津海岸 ~ 大洗海岸	6.4	5.6	9.4	2.6	1.2	2.2
地域海岸12	大洗海岸 ~ 成田海岸	4.6	6.1	7.3	1.8	1.3	2.5
地域海岸13	上釜海岸 ~ 上樺木海岸	4.9	6.1	6.6	2.0	1.5	2.3
地域海岸14	大小志崎海岸 ~ 下津海岸	4.4	6.2	6.4	2.0	1.5	2.1
地域海岸15	鹿嶋港	4.9	6.3	5.9	2.8	1.6	2.3
地域海岸16	日川海岸 ~ 波崎津海岸	4.8	7.1	6.9	3.1	1.3	1.7

※ 上表の津波高さは、単位条件T.P.+mに合わせた場合(既往津波の発生時の水位ではない)のシミュレーション値(横断値ではない)であり、各地域海岸における最大の値、ただし、僅部で、かつ背後に家屋等が無い箇所は除外。

15

国土交通省 (2012)

第2-7図 数値シミュレーション結果

茨城沿岸津波対策検討委員会検討結果(平成24年8月)

地域海岸の目指すべき堤防高【1津波高・高潮波浪によるうちあげ高】

地域海岸	海岸名	設計津波		高潮波浪によるうちあげ高	目指すべき堤防高	津波・高潮のチェンク	家屋の堤防高
		対象津波	設計津波の水位				
地域海岸1	北茨城市平沼町 ~ 北茨城市大津町	チリ	3.6	5.9	6.5	高潮波浪	4.09~5.74
地域海岸2	北茨城市大津町 ~ 北茨城市間南町神田上	チリ	3.6	6.4	7.0	高潮波浪	4.50~6.30
地域海岸3	北茨城市磯原町 ~ 北茨城市中郷町小野矢宿	チリ	3.7	6.4	7.0	高潮波浪	5.00~7.50
地域海岸4	高浜市赤浜 ~ 高浜市高浜町	チリ	3.3	6.1	7.0	高潮波浪	4.00~6.50
地域海岸5	高浜市石滝 ~ 日立市川尻町	チリ	3.6	6.1	7.0	高潮波浪	5.00~6.50
地域海岸6	日立市川尻町 ~ 日立市日高町	チリ	3.5	5.2	6.0	高潮波浪	4.29~6.00
地域海岸7	日立市日高町 ~ 日立市国分町	チリ	3.7	5.2	6.0	高潮波浪	2.89~7.00
地域海岸8	日立市国分町 ~ 日立市水木町	チリ	3.3	5.4	6.0	高潮波浪	4.70~6.20
地域海岸9	日立市大みか町 ~ 東海村豊岡	チリ	3.8	6.3	7.0	高潮波浪	4.59~5.00
地域海岸10	東海村台方 ~ ひたちなか市磯崎町	チリ	3.1	4.2	5.0	高潮波浪	4.11~4.91
地域海岸11	ひたちなか市磯崎町 ~ 大洗町磯浜町	チリ	4.1	6.0	6.5	高潮波浪	3.50~7.51
地域海岸12	大洗町磯浜町 ~ 大洗町成田町	チリ	4.2	5.3	6.0	高潮波浪	3.21~5.00
地域海岸13	鉾田市上釜 ~ 鉾田市上樺木	チリ	3.6	5.4	6.0	高潮波浪	4.40~5.00
地域海岸14	鹿嶋市大小志崎 ~ 鹿嶋市下津	チリ	3.6	5.3	6.0	高潮波浪	4.50~6.50
地域海岸15	鹿嶋市井井 ~ 神栖市日川	チリ	3.8	7.2	8.0	高潮波浪	3.59~7.59
地域海岸16	神栖市日川 ~ 神栖市波崎	元禄	4.2	4.0	5.0	津波	5.00~6.00

※1 地域海岸とは「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津波高さ」等から海岸を分割したものである。

※2 「目指すべき堤防高」は臨海・堤防等の堤防整備検討の目安となる高さです。

※3 津波による堤防高設定と高潮波浪による堤防高設定を比べ、津波による設定が大きくなる場合は「津波」、高潮波浪による設定が大きくなる場合は「高潮・波浪」と記載しています。

※4 地域海岸毎に、設計津波の水位・高潮波浪によるうちあげ高を設定しますが、これらの水位が同じ地域海岸内や近接する地域海岸で著しく異なる場合は、設計津波の水位・高潮波浪によるうちあげ高が変わる場合があります。
(大規模施設を含む地域海岸や環境に近接する地域海岸等については、今後地形の詳細確認や関係機関との調整により設計津波の水位等について変更する場合があります。)

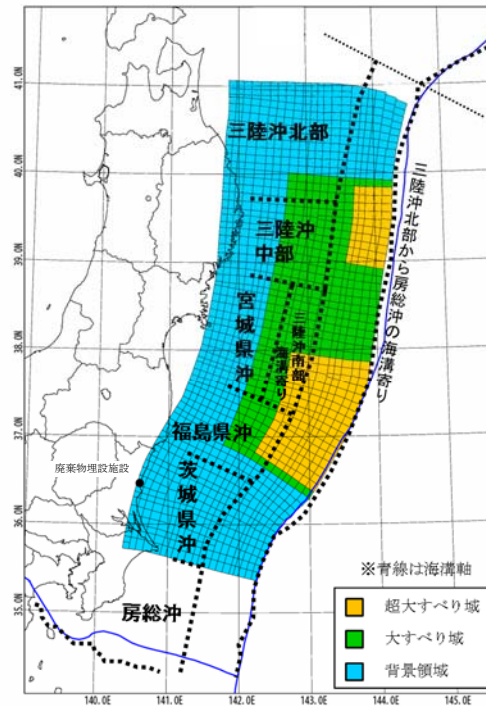
※5 事業実施にあたっては、必要に応じて各管理官(海岸・港湾・漁港・保安林等)、市町村等が環境保全、景観・景観との調和、地域の特性、既設防護施設、住民の意向、経済性、維持管理の容易性、施工性、公衆の利用等を総合的に考慮して、防護ラインの位置と堤防高を設定することとしており、堤防高の設定が異なる場合があります。

茨城県 (2012)

第2-8図 設計津波の水位

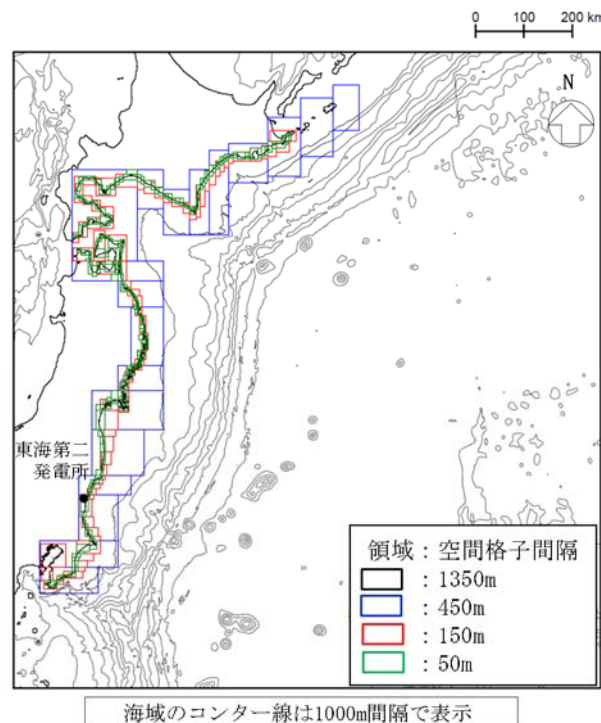
パラメータ	設定値
断層面積: S	134,733 km ²
平均応力降下量: $\Delta\sigma$	3.0 MPa
剛性率: μ	4.7×10^{10} N/m ²
モーメントマグニチュード: M_w	9.1
平均すべり量: D	9.6 m
地震モーメント: M_0	6.1×10^{22} Nm

パラメータ		設定値
超大すべり域	すべり量	28.9 m
	面積比率 (断層面積)	全体面積の15% (20,010 km ²)
大すべり域	すべり量	13.5 m
	面積比率 (断層面積)	全体面積の25% (33,825 km ²)
背景領域	すべり量	3.2 m
	面積比率 (断層面積)	全体面積の60% (80,898 km ²)

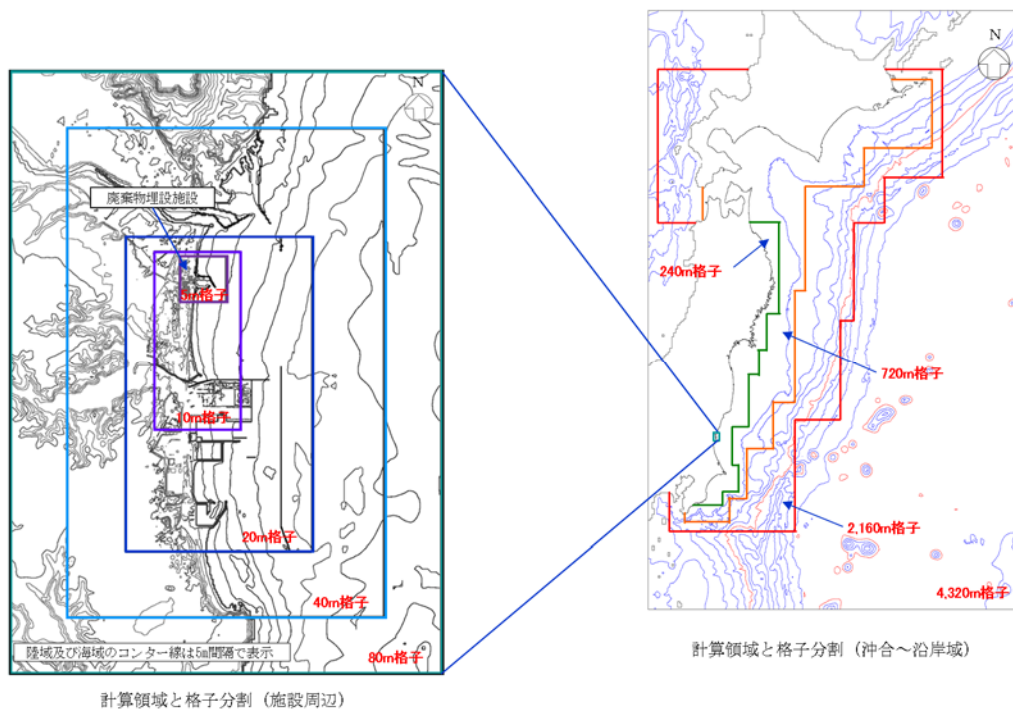


特性化波源モデル (一例)

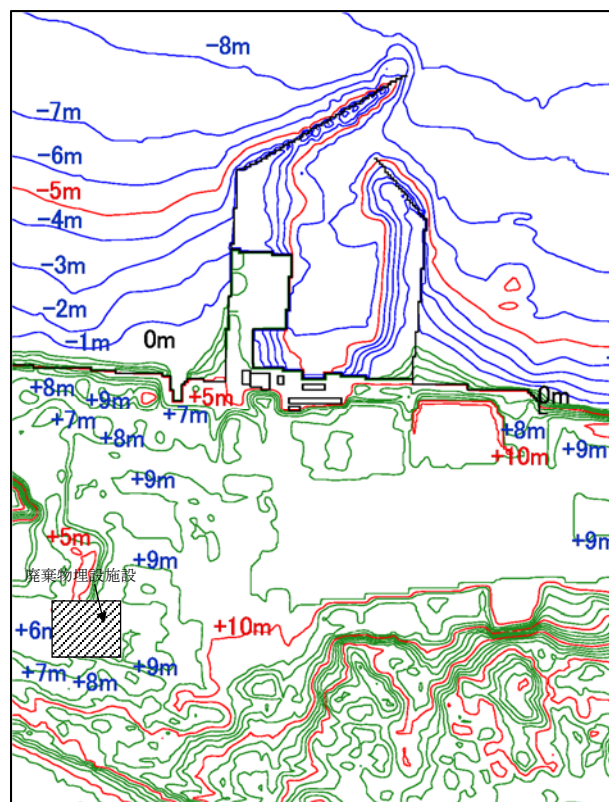
第2-9図 2011年東北地方太平洋沖地震の特性化波源モデルの諸元



第2-10図(1) 数値シミュレーションの計算領域及び計算格子
(広域の再現解析)

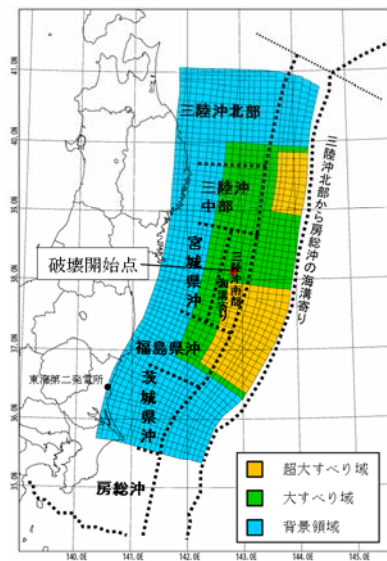


第 2-10 図(2) 数値シミュレーションの計算領域及び計算格子
(敷地周辺の再現解析)



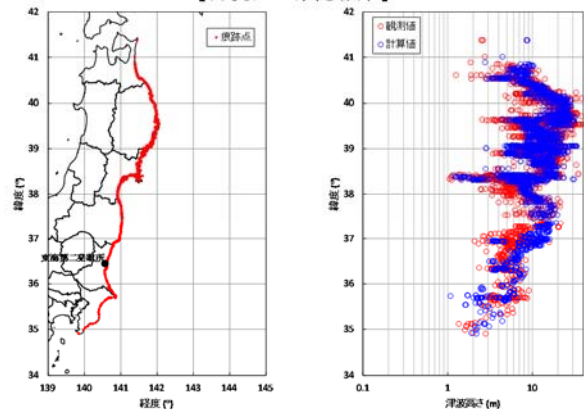
第 2-11 図 数値シミュレーションの地形モデル
(敷地周辺の再現解析)

【東北地方太平洋沖型の特性化波源モデル】



破壊開始点：震源位置
破壊伝播速度：3.0km/s
立ち上がり時間：30秒

【再現性の確認結果】



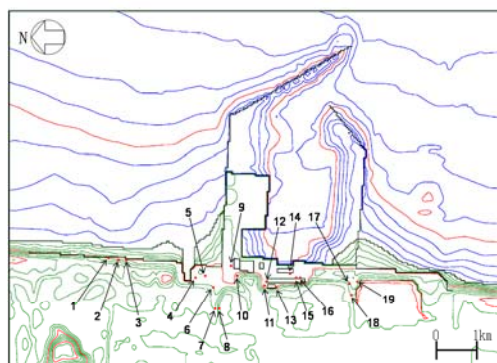
青森県北部～千葉県南部における2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の
痕跡地点（左図）及び痕跡高（右図）
（東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ（2012）のデータを使用）

地点数 n	幾何平均 K	幾何標準偏差 κ
2,772	0.94	1.43

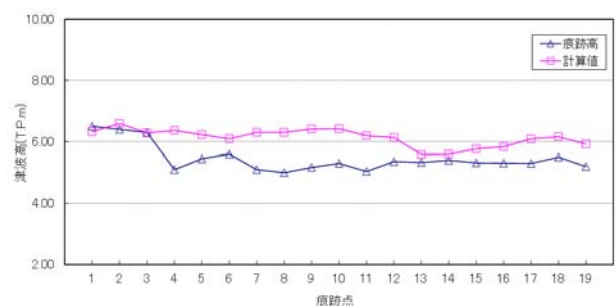
【幾何平均K及び幾何標準偏差κの再現性の目安】
0.95 < K < 1.05
κ < 1.45

（土木学会（2016））

第 6.2-12 図 (1) 再現解析の確認結果
(広域の再現解析)



敷地内評価点



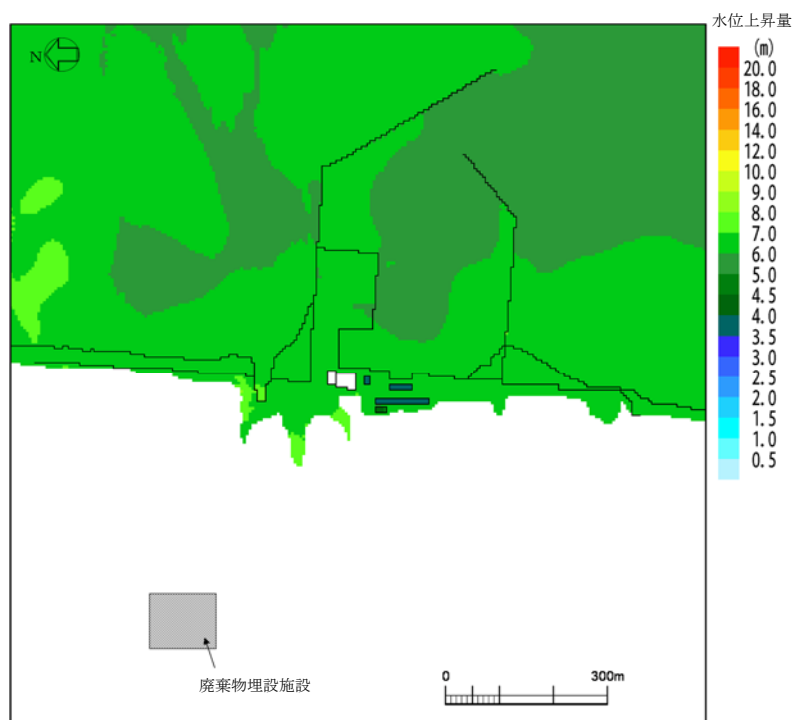
計算値と観測値の比較

地点数 n	幾何平均 K	幾何標準偏差 κ
19	0.89	1.08

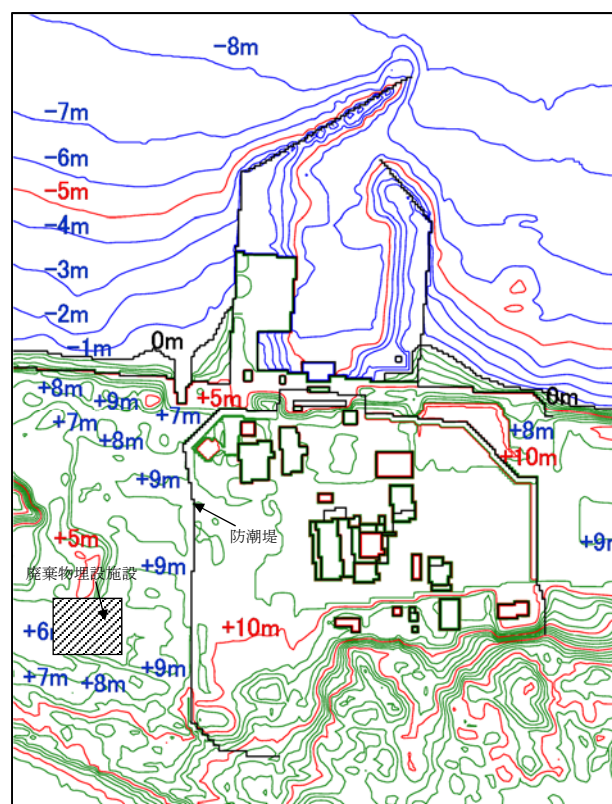
【幾何平均K及び幾何標準偏差κの再現性の目安】
0.95 < K < 1.05
κ < 1.45

（土木学会（2016））

第 6.2-12 図 (2) 再現解析の確認結果
(敷地周辺の再現解析)



第 2-13 図 評価結果 (2011 年東北地方太平洋沖地震津波)



第 2-14 図 施設位置図