

第62回海岸工学講演会
11th November 2015
1-R5-2-259



TOKIO MARINE
NICHIDO

東京海上日動リスクコンサルティング



TOHOKU
UNIVERSITY

東北大学 工学研究科・工学部
SCHOOL OF ENGINEERING, TOHOKU UNIVERSITY

エネルギー保存則による浸水評価を用いた広域に亘る 施設群の津波リスク評価

福谷陽^{1,2}・徳永英¹・佐藤一郎¹・今村文彦²

1: 東京海上日動リスクコンサルティング株式会社

2: 東北大学大学院工学研究科

本研究の背景と目的

【本研究の背景】

昨今、大企業を中心として、自社が保有する自然災害リスクを客観的かつ定量的に把握することで、ERM(Enterprise Risk Management: 全社的リスク管理) 経営を推進する動きが広がっている。

そのような中、広域に亘って散在する企業(自社)の事務所、工場等の施設群が全体として保有する自然災害リスクを定量的に評価する手法の開発が求められている。

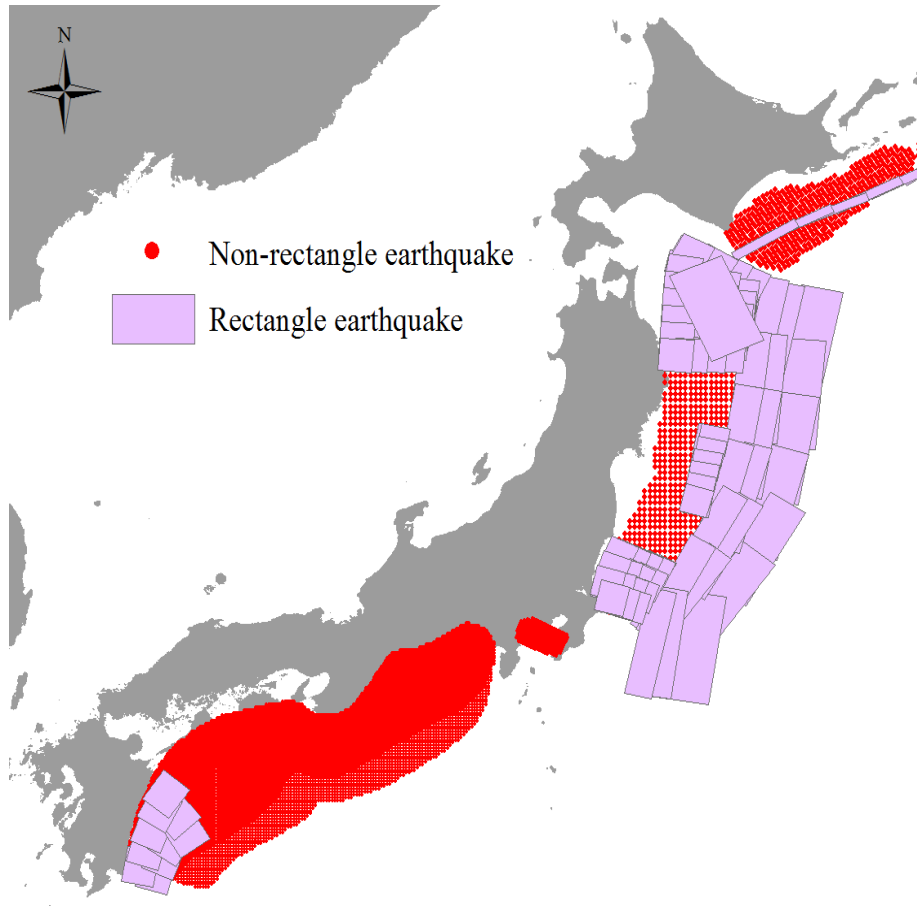
【本研究の目的】

広域に亘って散在する複数の施設群を対象として、それら施設群全体(ポートフォリオ)が保有する津波リスクを定量的に評価する手法を提案する。

広域に亘って散在する施設群の各立地点での津波浸水深の評価手法として、エネルギー保存則による評価手法を採用することで、非線形長波方程式を用いた通常の評価手法と比較して、計算コストを大幅に削減する。

津波リスク評価に用いた津波波源と評価対象

【津波波源】



想定した125の地震断層領域 (NIED(2013))

【評価対象】



全国各地の発電所の位置データ
(国土交通省国土政策局(2012))

津波リスク評価の流れ

125の津波波源に
対して同様に評価

津波波源の設定

津波伝播計算(450mメッシュ)

沿岸波高の抽出(450mメッシュ)

エネルギー保存則の適用
450mメッシュ
→10mメッシュ

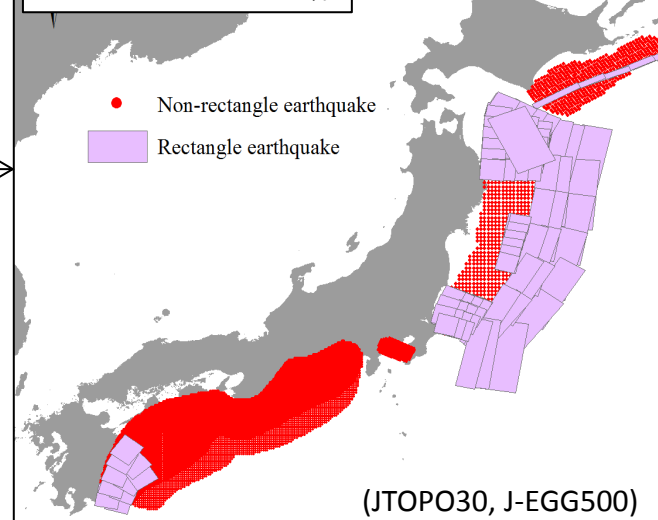
個別施設立地点での津波浸水深の評価(10mメッシュ)

個別施設の損害額の評価

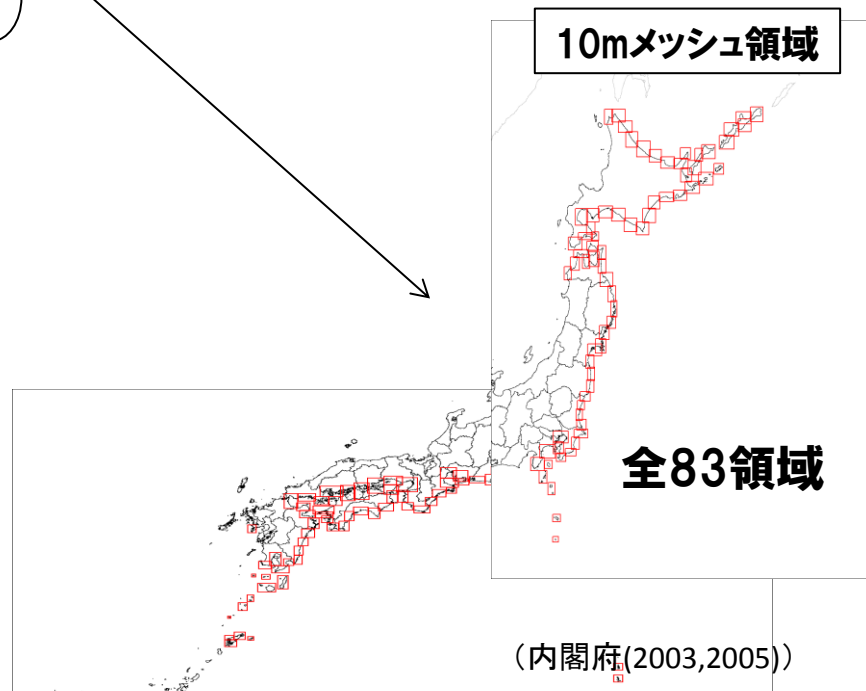
広域に亘る施設群全体の損害額の評価

複数の津波波源を用いた広域に亘る施設群の津波リスク評価

450mメッシュ領域



10mメッシュ領域



エネルギー保存則を用いた津波浸水評価の概要

損害保険料率算出機構(2008)の手法を参考とした

$$E_1 = \alpha E_2 + E\tau$$

(メッシュの水のエネルギー) = (隣接する水のエネルギー) + (底面摩擦エネルギー)

$$E_1 = \left\{ \int_{H_2}^{Z_1} \rho g z dz + \int_{H_2}^{Z_1} \rho g (Z_1 - z) dz + \int_{H_2}^{Z_1} \frac{\rho (V_1)^2}{2} dz \right\} \int_0^l dx \int_0^l dy$$

位置エネルギー

静圧エネルギー

動圧エネルギー

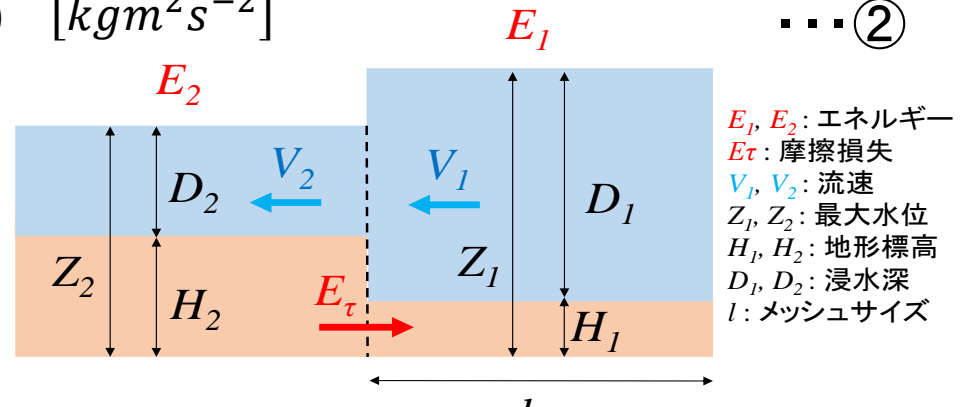
$V_1 = \sqrt{gD_1}$ で近似

$$= \rho g l^2 (Z_1(Z_1 - H_2) + \frac{1}{2}(Z_1 - H_1)(Z_1 - H_2)) \quad [kgm^2s^{-2}] \quad \dots \textcircled{1}$$

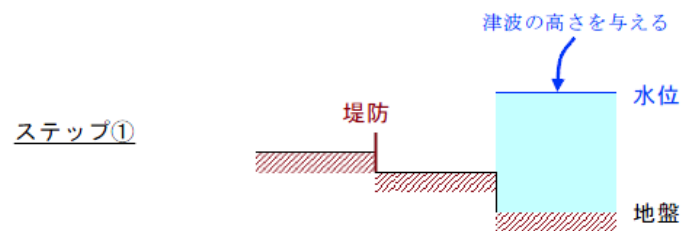
$$E_2 = \left\{ \int_{H_2}^{Z_2} \rho g z dz + \int_{H_2}^{Z_2} \rho g (Z_2 - z) dz + \int_{H_2}^{Z_2} \frac{\rho (V_2)^2}{2} dz \right\} \int_0^l dx \int_0^l dy$$

$V_2 = \sqrt{gD_2}$ で近似

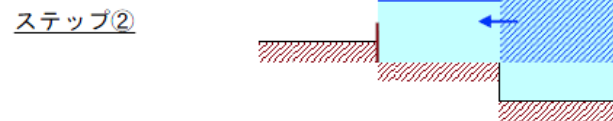
$$= \rho g l^2 (Z_2(Z_2 - H_2) + \frac{1}{2}(Z_2 - H_2)^2) \quad [kgm^2s^{-2}] \quad \dots \textcircled{2}$$



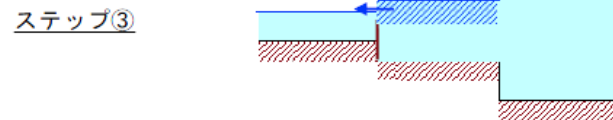
エネルギー保存則を用いた津波浸水評価の概要



青色斜線部のエネルギーから摩擦損失を差し引いたエネルギーが保存されるように水深を与える



青色斜線部のエネルギーから摩擦損失を差し引いたエネルギーが保存されるように水深を与える



エネルギー保存則を用いた津波浸水評価の概要

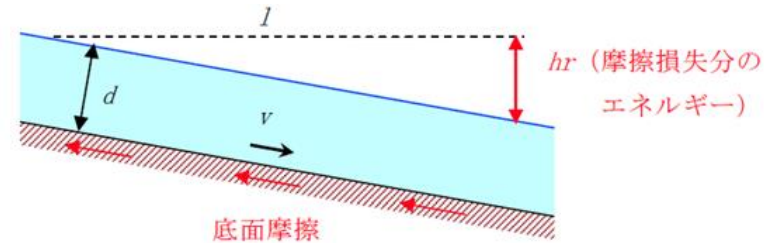
損害保険料率算出機構(2008)の手法を参考とした

$$E_1 = \alpha E_2 + E\tau$$

(メッシュの水のエネルギー) = (隣接する水のエネルギー) + (底面摩擦エネルギー)

距離L流れる間の単位体積辺りの摩擦損失エネルギー Δp は、抵抗係数f, 流速v, 水深Dを用いて Darcy-Weisbachの式より,

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2} = \frac{\rho g^2 n^2 L}{D^{1/3}}$$

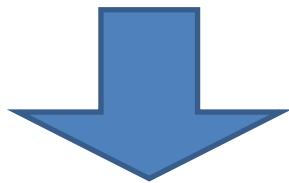


と書ける. ここで, マニングの粗度係数をnとして, 抵抗係数 $f = 2gn^2/D^{1/3}$, $v = \sqrt{gD}$ の近似式を用いた. 底面摩擦エネルギー $E\tau$ は, Δp を用いて,

$$E\tau = \Delta p l^2 D_1$$

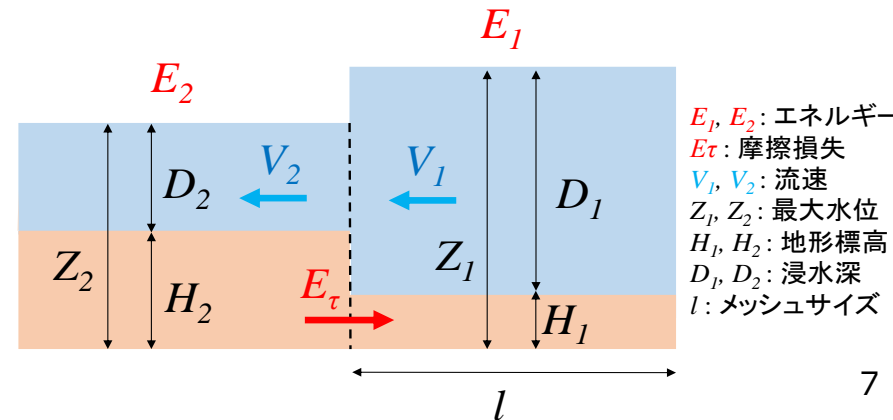
$$= \rho g^2 n^2 l^3 (Z_1 - H_1)^{2/3} \text{ [kgm}^2\text{s}^{-2}\text{]}$$

... ③



①, ②, ③式から, 隣接メッシュの最大水位 Z_2 に関する2次方程式が得られ, 解は下記の通りとなる

$$Z_2 = \frac{2}{3}H_2 \pm \sqrt{\frac{1}{9}H_2^2 - \frac{2}{3\alpha} \left\{ gn^2 l (Z_1 - H_1)^{2/3} - \frac{1}{2} (Z_1 - H_2)(3Z_1 - H_1) \right\}}$$

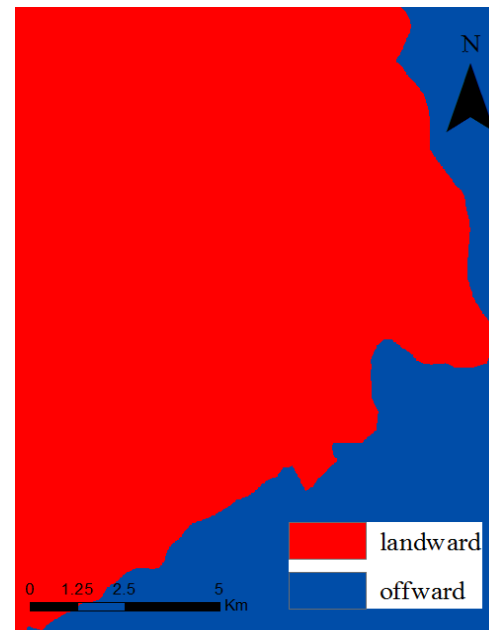
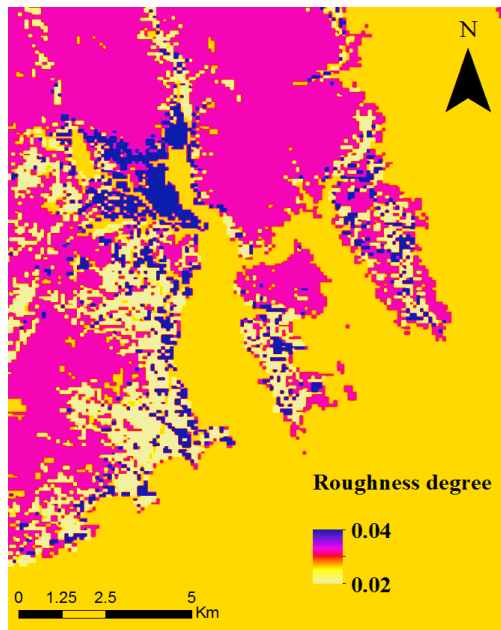
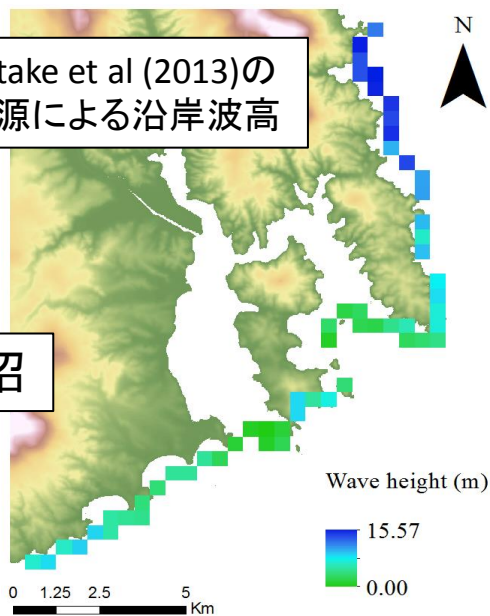


E_1, E_2 : エネルギー
 $E\tau$: 摩擦損失
 V_1, V_2 : 流速
 Z_1, Z_2 : 最大水位
 H_1, H_2 : 地形標高
 D_1, D_2 : 浸水深
 l : メッシュサイズ

エネルギー保存則を用いた津波浸水評価の概要

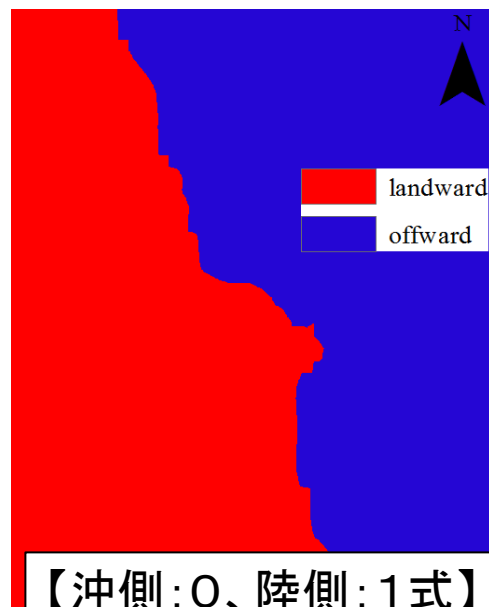
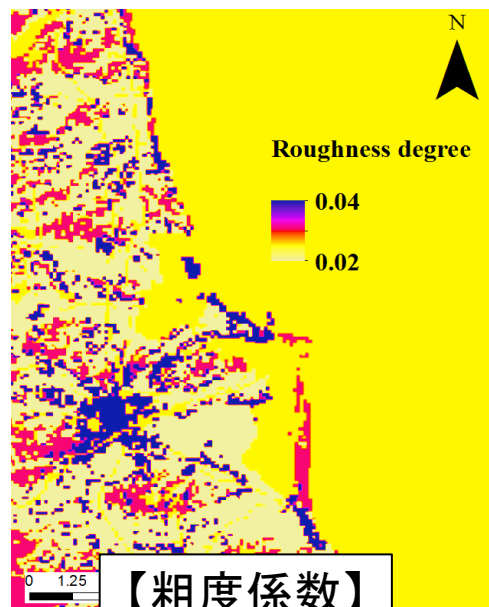
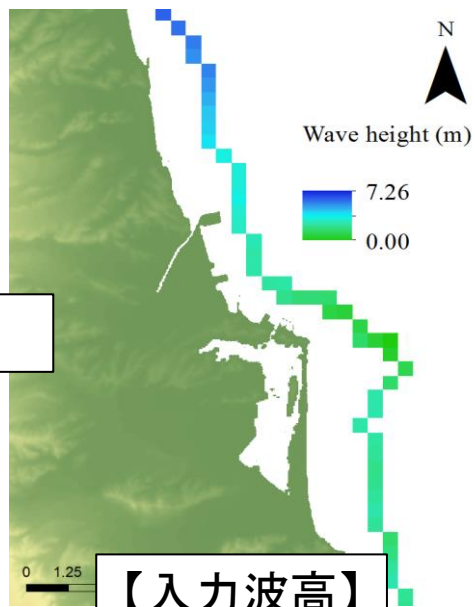
Satake et al (2013)の
波源による沿岸波高

気仙沼



Wave height (m)
7.26
0.00

相馬



【入力波高】

【粗度係数】

【沖側:0、陸側:1式】

非線形長波方程式とエネルギー保存則による浸水深評価の比較

【非線形長波方程式】

採用

【エネルギー保存則】

浸水面積

気仙沼

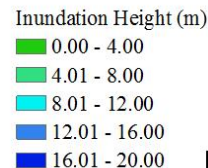
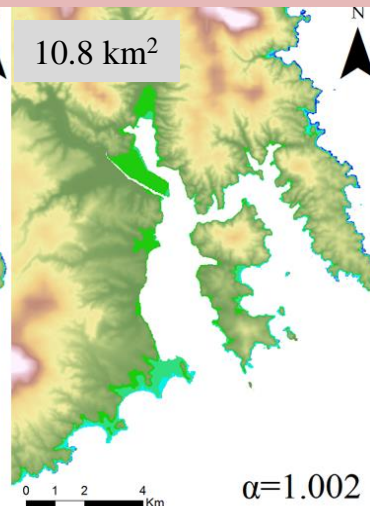
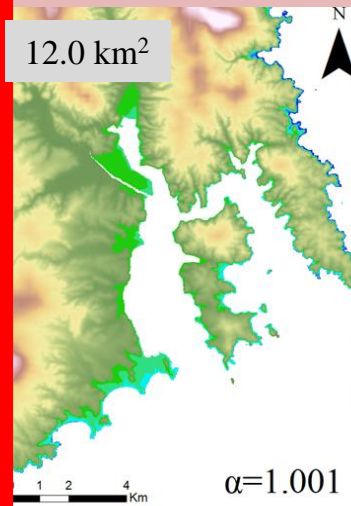
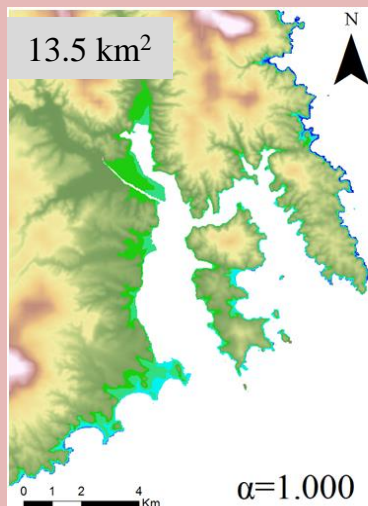
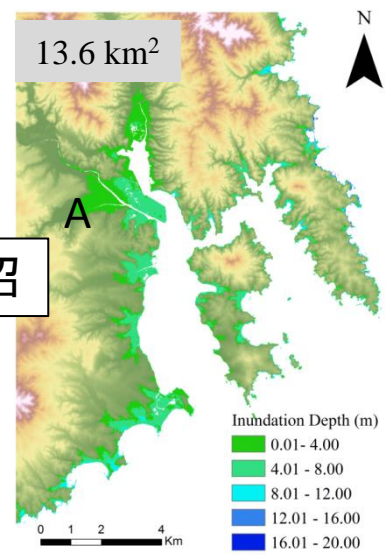


図 5.3.5 エネルギー保存則を用いた津波浸水域の比較（気仙沼地域）

相馬

浸水面積

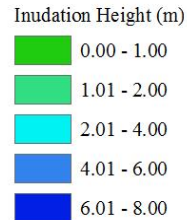
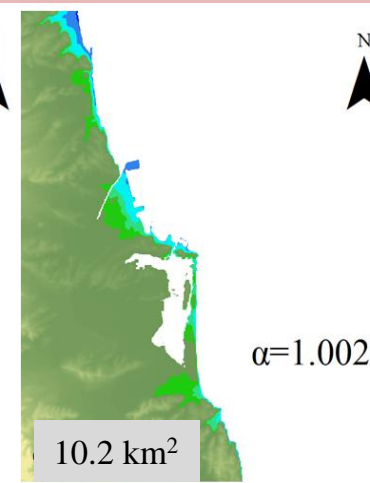
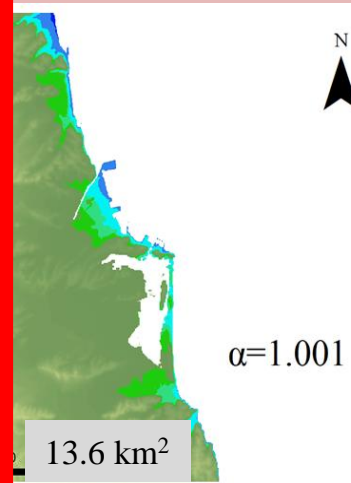
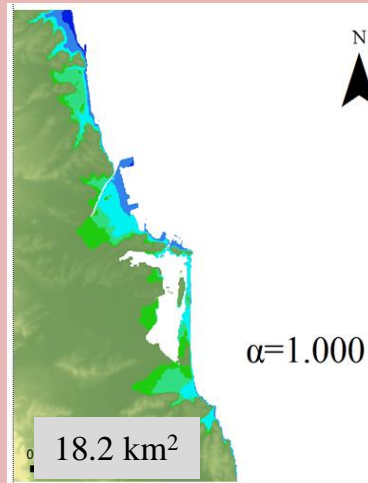
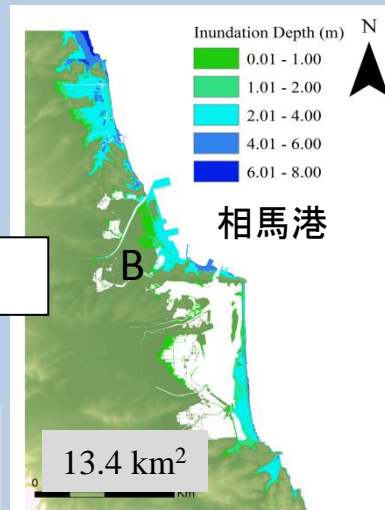
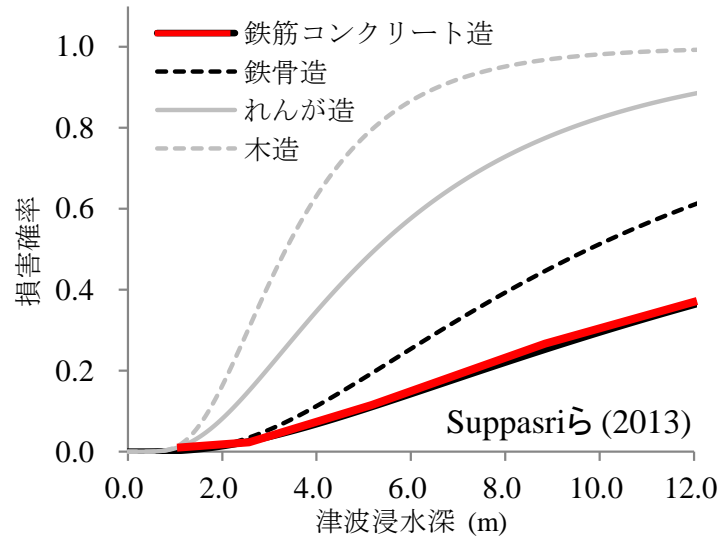


図 5.3.6 エネルギー保存則を用いた津波浸水域の比較（相馬地域）

津波浸水深→損害率→損害額の計算

◆津波浸水深から損害率の計算には一律で鉄筋コンクリート造建物のフラジリティ曲線を用いた。(各発電所の施設・機械設備等は基本的には設計基準等に基づき適切な対策が講じられているという想定の下、それらの脆弱性は、一律で、鉄筋コンクリート造建物の脆弱性に等しいという仮定を置いた。)

東北地方太平洋沖地震津波の被害データの回帰分析により得られたフラジリティ曲線



◆得られた損害率に各発電所の平均的な施設金額を乗じることで損害額を評価する。

◆各発電所の平均的な施設金額は、内閣官房(2011)が公表する各発電所の平均的な建設費と同等であると仮定した。

内閣官房(2011)より筆者作成

発電所の種類	石炭火力	LNG火力	石油火力	風力(陸上)	バイオマス (木質専焼)	バイオマス (石炭混焼)	原子力	太陽光 (住宅用)	太陽光 (メガソーラー)
平均的なプラント規模(kW)	750000	1350000	400000	20000	5000	750000	1200000	4	1200
プラント規模(kW)あたり 建設費(万円/kW)	23	12	19	20-35	30-40	-	35	48-55	35-55
平均的な建設費(億円)	1725	1620	760	40-70	15-20	3-5	4200	0.0192-0.0220	4.2-6.6

火力発電所

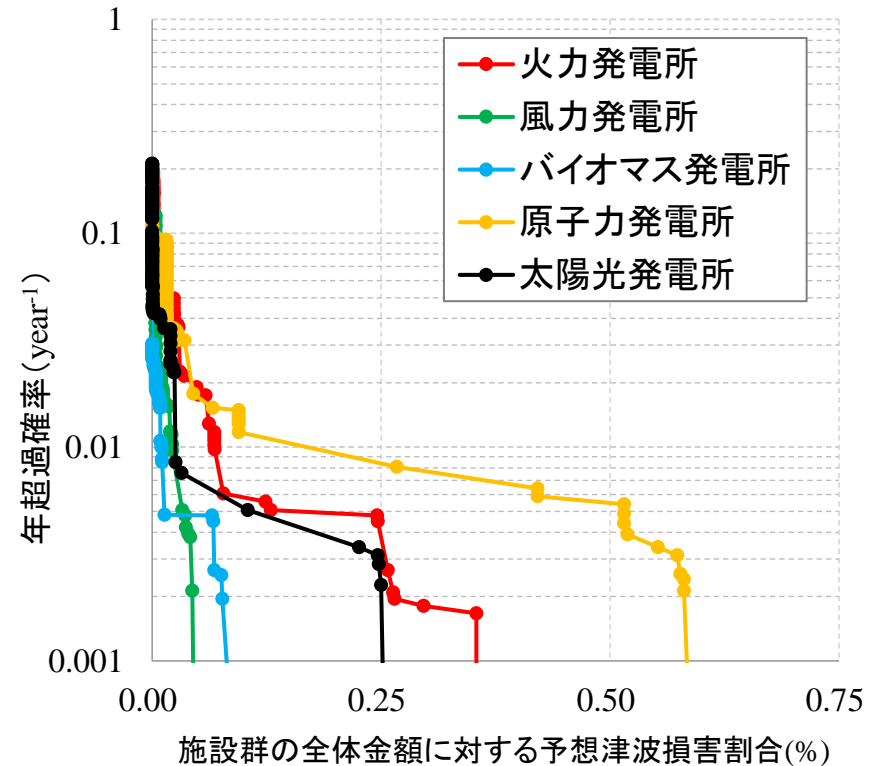
バイオマス発電所

太陽光発電所

施設群の津波リスク評価

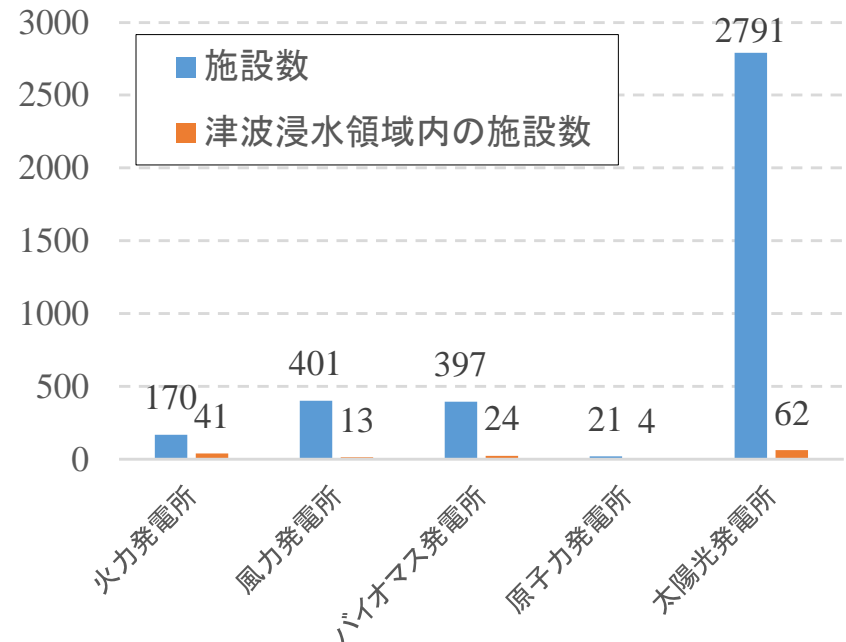
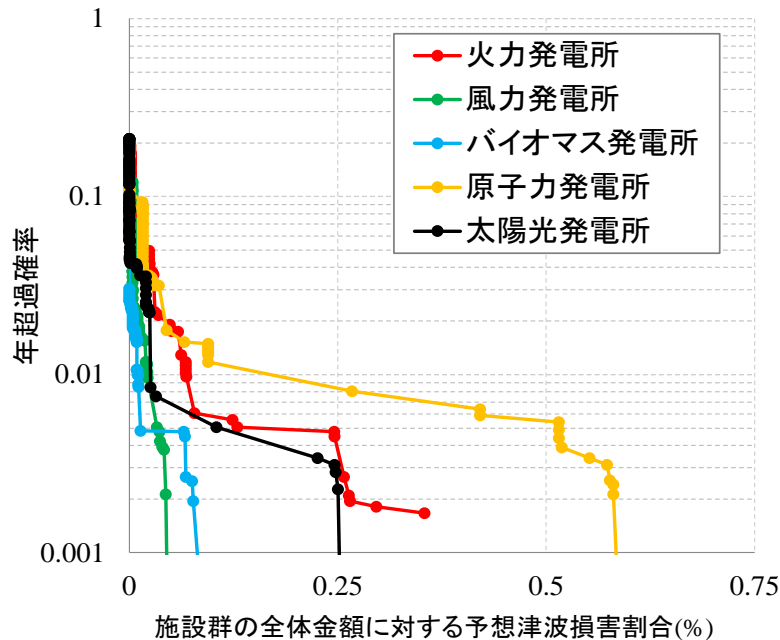
◆発電所種類毎に各津波波源による全施設の損害割合と、各津波波源の発生確率(公表値)を基に、横軸:施設群の全体金額に対する予想津波損害割合(%), 縦軸:年超過確率を示した。

火力発電所				
波源No.	年発生確率	年超過確率	損害額(億円)	損害割合
8	0.0016667	0.0016667	823.68	0.354%
89	0.0001417	0.0018084	689.04	0.296%
100	0.0001417	0.0019501	615.51	0.265%
88	0.0001417	0.0020918	612.39	0.263%
111	0.0005669	0.0026587	598.80	0.257%
96	0.0018424	0.0045011	572.71	0.246%
104	0.0002834	0.0047846	571.70	0.246%
113	0.0002834	0.0050680	301.74	0.130%
122	0.0005000	0.0055680	288.10	0.124%
124	0.0005000	0.0060680	181.05	0.078%



施設群の津波リスク評価

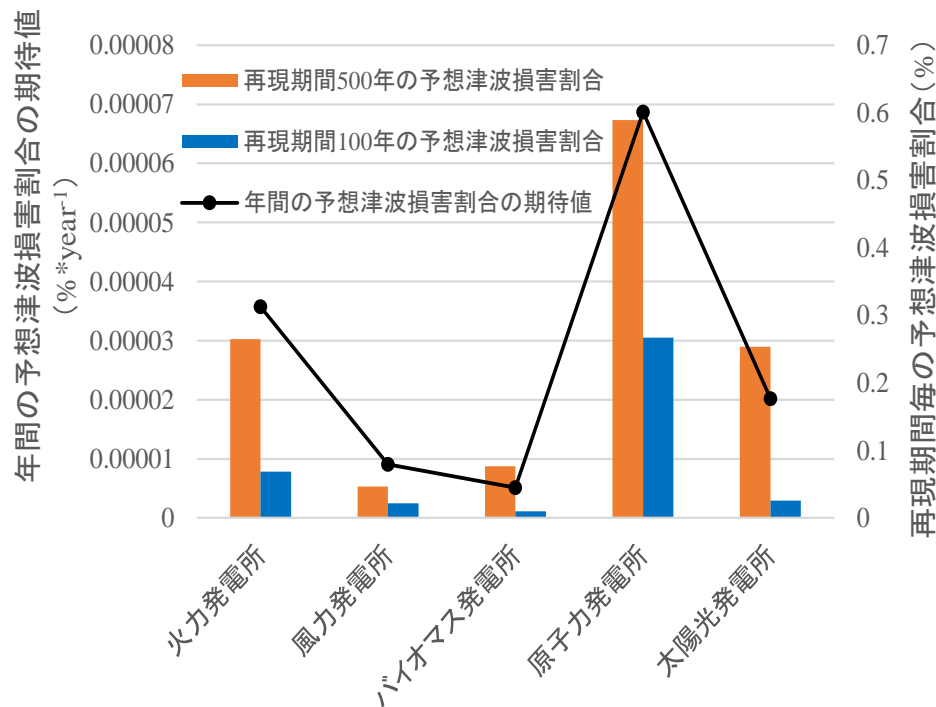
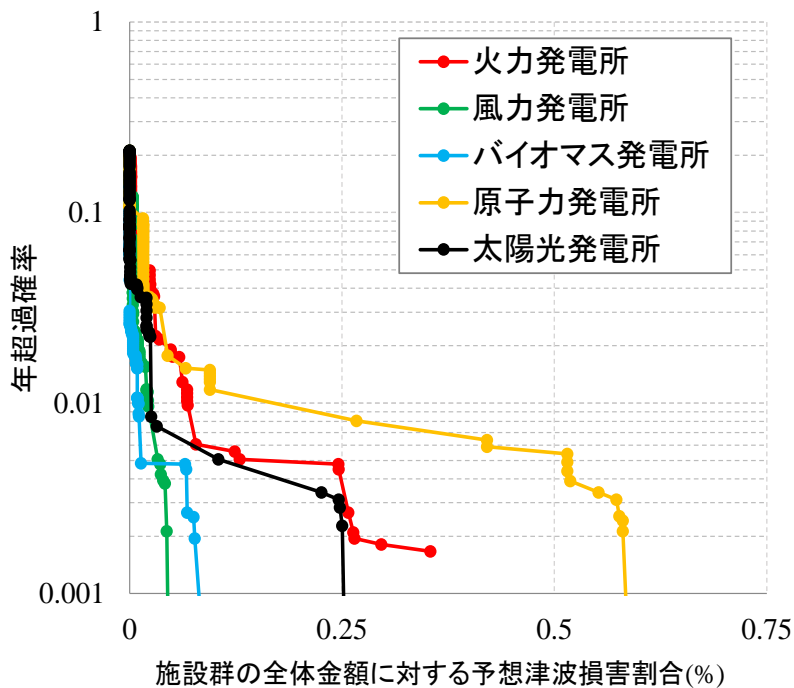
- ◆原子力発電所および火力発電所のリスクが比較的高く、風力・バイオマス発電所のリスクが比較的低い傾向である
- ◆原子力発電所や火力発電所は、施設金額が比較的高く、かつ、海沿いに立地していることが多く、立地点が比較的高い津波浸水深になることが多いため、津波リスクが高くなっている。
- ◆風力・バイオマス発電所は、施設金額が低く、かつ、海岸沿いに立地する発電所の数が比較的小さい傾向であるため、総じてリスクが小さくなっている
- ◆太陽光発電所については、施設の全数が多く、内陸部、海沿いのどちらにも建設されているが、海沿いの発電所が津波リスクに晒されるため、火力発電所に次いで、津波リスクが比較的高い傾向を示している。



予想津波損害割合の定量評価

◆ 予想津波損害割合の期待値，再現期間100年の予想津波損害割合で見ると，保有している津波リスクの大小は，原子力発電所 > 火力発電所 > 太陽光発電所 > 風力発電所 > バイオマス発電所の順となった。

◆ 再現期間500年では，風力発電所とバイオマス発電所の大小関係が逆になっているが，大きな傾向はほぼ同様であった。



結論

- ◆エネルギー保存則を用いた津波浸水評価手法は、一定程度の物理的妥当性を担保しながらも、非線形長波方程式を用いた津波浸水評価手法と比較すると大幅に計算コストを削減可能で、迅速に津波浸水領域・浸水深を評価可能な手法である。
- ◆日本全国に散在する多数の発電所施設群を対象として、エネルギー保存則による津波浸水評価を用いて、それら施設群全体の予想津波損害割合の期待値、再現期間別の予想津波損害割合などの定量的なリスク指標を導出することが出来た。
- ◆提案した津波リスクの定量評価手法は、自社施設等の資産を各地に複数所有する事業者(企業)や、広域に亘って契約者が存在する銀行・損害保険会社等の金融機関が、リスクベースの経営判断(意思決定)を実施する際の有益な支援手法となり得る。

ご清聴ありがとうございました。



TOKIOMARINE
NICHIDO



TOHOKU
UNIVERSITY