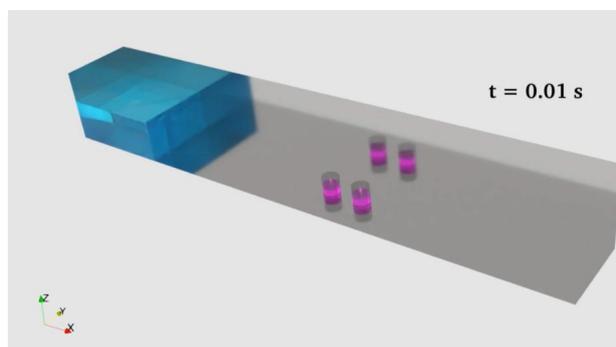
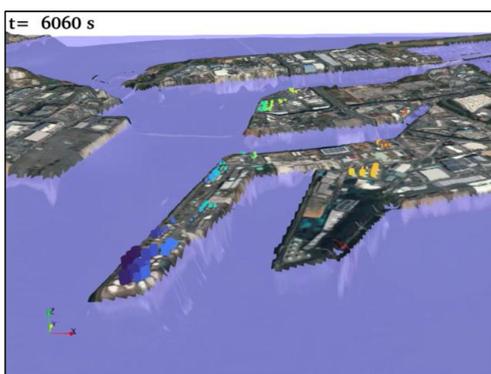


石油貯蔵タンクの津波による破壊と 石油拡散シミュレーション技術の開発

大阪大学大学院 工学研究科
地球総合工学専攻
国土開発保全工学領域
博士後期課程2年

堤 雄大



1

発表の流れ・キーワード

1) 津波シミュレーションについて

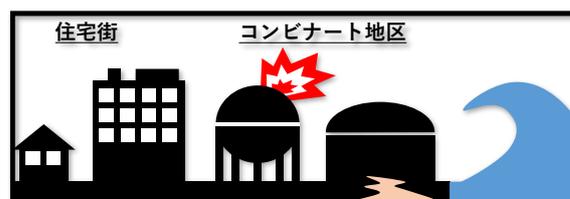
- 津波シミュレーションによるハザードマップの作製
- 津波シミュレーションの仕組み（モデルとデータ）
- 適用における注意点

t = 10 s



2) NATECHシミュレーションについて

- 津波による石油貯蔵タンクの破壊とシミュレーションの構築
- コンビナート防災のための協力関係の構築に関して



キーワード

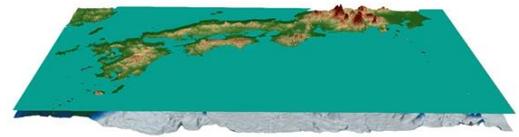
シミュレーション：コンピューターを用いて物理現象を解析する技術
モデル：物理現象を数式等を用いて簡略的に表現したもの
データ：現象や状態を数値として表したのも

2

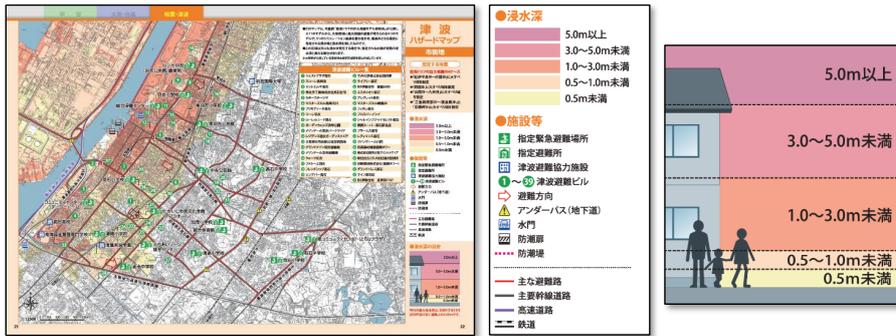
津波シミュレーションとハザードマップ

津波シミュレーション：
地形や海面をコンピュータ上で再現し、津波の伝播を予測する。

t = 10 s



津波ハザードマップ：
シミュレーションの結果をもとに作成される。被害軽減・防災対策を目的に、浸水想定区域、避難場所などが表示される。



- ・ハザードマップはリスクコミュニケーションにおいて重要な役割を果たす
- ・浸水深さの数値が明確になることで合理的な対策をとることが可能

NATECHにおいてもシミュレーションの構築とハザードマップが必要

津波シミュレーション結果の二次的な活用

*京都防災研究所



*関西大学, パシフィックコンサルタンツ株, (株)キャドセンター



津波シミュレーションの結果は二次的な活用も活発
→ 津波の具体的イメージの強化, より効果的な避難訓練につながる

数値シミュレーションと津波のモデル化

数値シミュレーションを構成する2つの要素

モデル

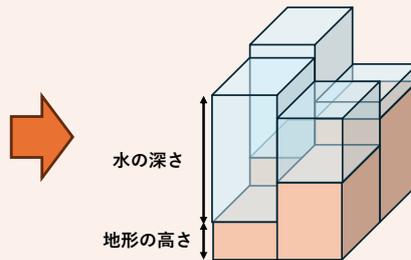
データ

津波のモデル化（簡略化）

実現象を詳細に再現しようすると、計算コストが膨大に。
津波数値シミュレーションでは広域を計算するために現象を簡略化している。



*宮古市役所(2011)



浸水想定図を作成する際の津波シミュレーションでは地形の高さと水位変動の平面的な分布のみを考慮する。
(構造物周りの複雑な流れは再現できない)

シミュレーションではモデル化を行うため、必ず限界が存在する
(開発者はモデル化する現象の取捨選択を行うことが必要)

5

津波シミュレーションで用いられるデータ

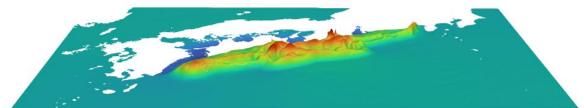
大阪府を対象にした津波シミュレーション

t = 10 s

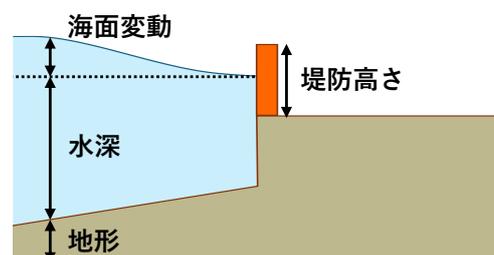
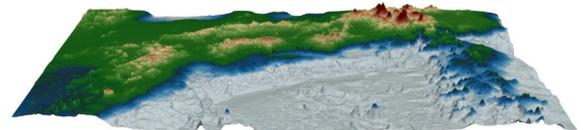


使われているデータ

水深+津波による海面変動



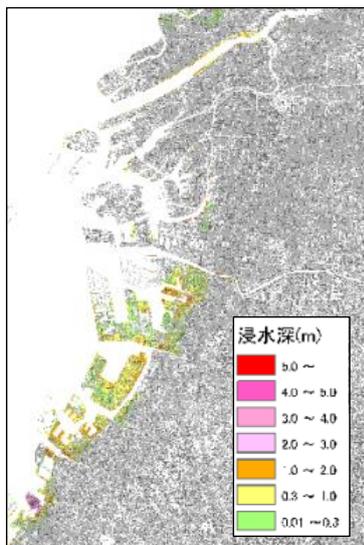
日本周囲の地形情報



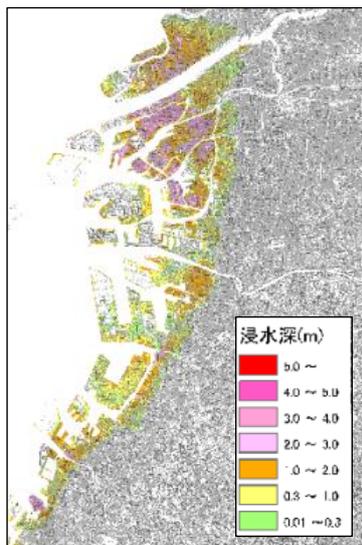
6

使用するデータが結果に及ぼす影響

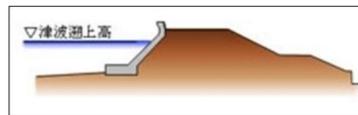
国公表結果



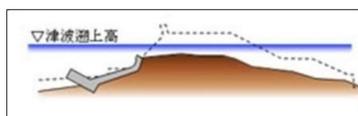
大阪府の結果



大阪府では地震による堤防の沈下を考慮することで、浸水領域が大幅に増加



地震前



地震後

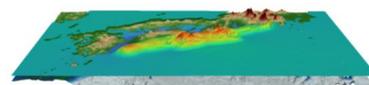
シミュレーションは使用するデータや条件で結果が大きく変化
適切なデータを用いて、様々な条件でシミュレーションすることが重要

7

NATECHをシミュレーションするには？

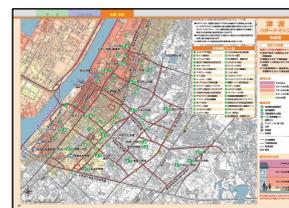
津波シミュレーションの活用

- ・ ハザードマップが対策・コミュニケーションで有効

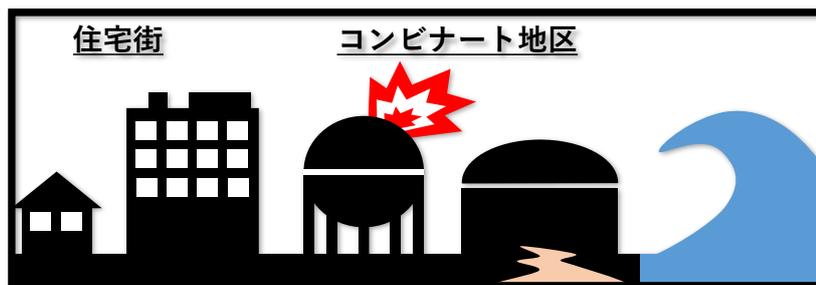


津波シミュレーションで重要なこと

- ・ シミュレーションは現象をモデル化（簡略化）する
- ・ 用いるデータによって結果が大きく異なるため、適切なデータを用いることが重要



NATECHをシミュレーションするには...



そもそも、**シミュレーション手法の確立**が必要

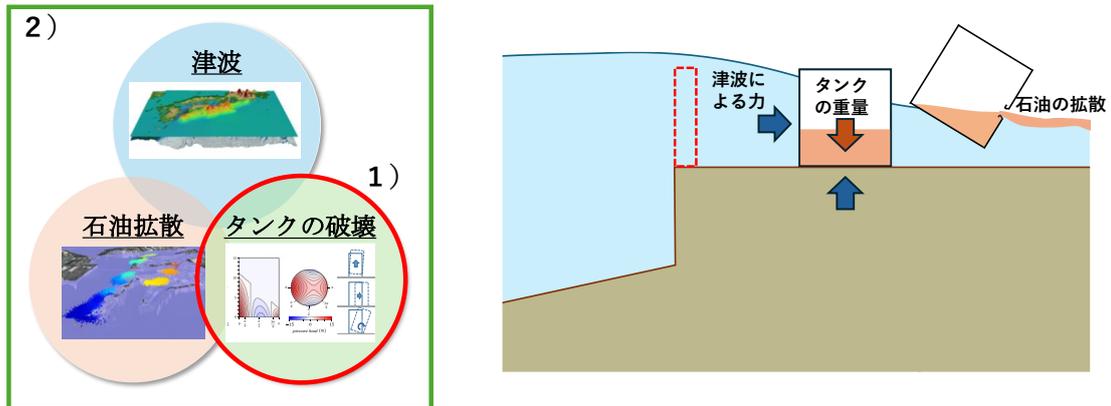
そして、**どんなデータが必要か**明確にする

→シミュレーション結果よりNATECHハザードマップの作製を行う

8

津波による石油貯蔵タンクの破壊と石油拡散

自身の研究対象：津波による石油貯蔵タンクの破壊と石油拡散



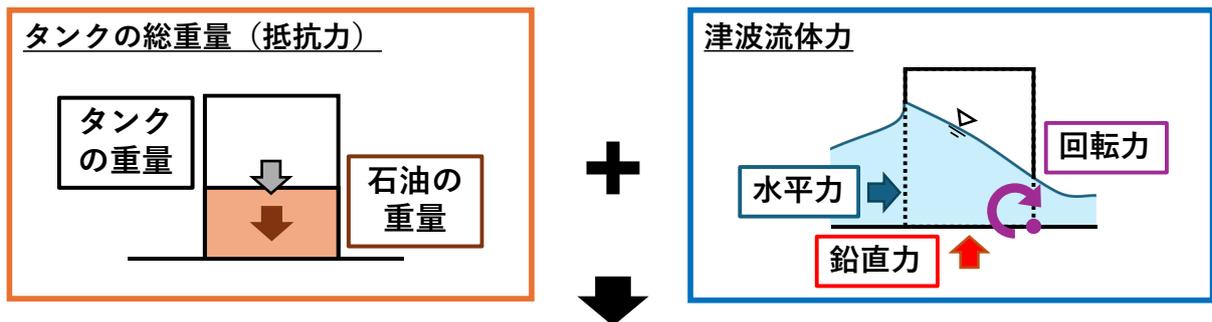
石油拡散シミュレーション構築の話の流れ

- 1) 石油貯蔵タンクがどのように津波により破壊されるのか
(タンク破壊のモデル化)
- 2) 破壊されたタンクから漏れ出した石油がどのように拡散するのか
(津波石油拡散のモデル化)
- 3) 大阪北港地区でのシミュレーションの適用

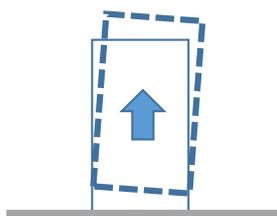
9

石油貯蔵タンクの破壊を評価する

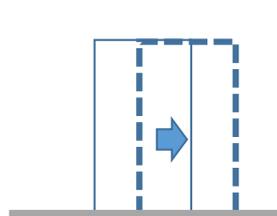
石油貯蔵タンクの破壊は、**タンクの総重量（抵抗力）**と**津波流体力**によって決まる



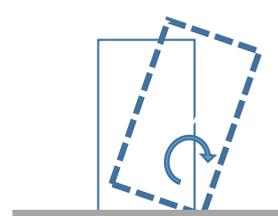
浮き上がり



滑動



転倒

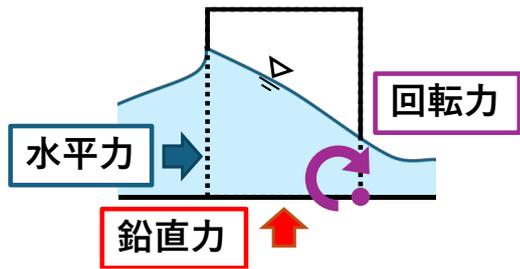


例) 浮き上がり破壊なら、**鉛直力** > **総重量** の時に発生する

*総務省消防庁(2009)

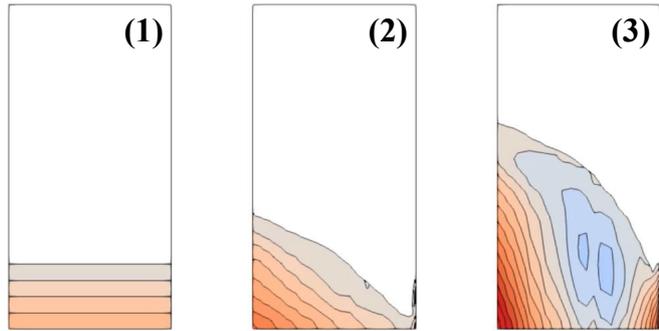
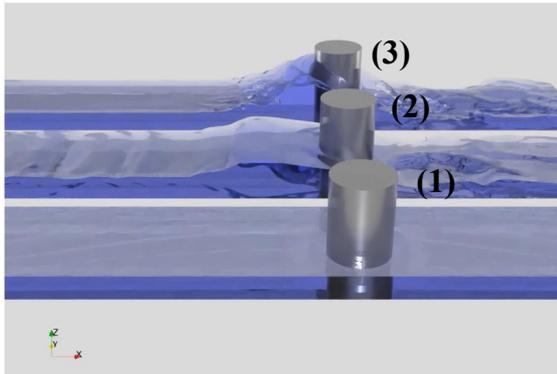
津波によりどのような力（方向・大きさ）が加わるか把握する必要がある

石油貯蔵タンクに作用する津波流体力特性



どうやって津波流体力を評価する？

- 流体による力を評価するためには圧力の分布を把握する必要がある
- 同じ浸水深さでも、流れの速さが大きいほど作用する力は大きい

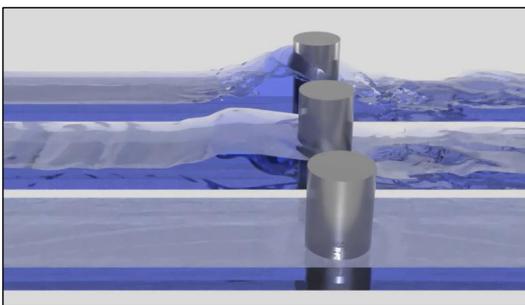


流速が大きいほどタンク前面の水位が高くなり、水平方向に力が大きくなる

→ 現象の要因との関係性を明らかにすることでモデル化が可能に

津波流体力の計算方法

シミュレーションによる計算



・計算負荷が非常に大きい

算定式による推定

step1. 流速と浸水深のデータを入力

step2. 底部周辺圧力分布の算定

$$h_p(\theta) = h_p(0)Q(\theta) = h_p(0) \sum_{n=0}^{\infty} q_n \cos(n\theta)$$

step3. 圧力分布の算定

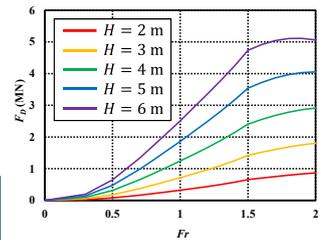
$$p_o(z, \theta) = \rho g h_p(0) \left(\frac{Q_o(\theta)}{h_p(0)Q(\theta)} z + Q_z(\theta) \right) \quad (0 \leq z \leq Q_z(\theta))$$

$$p_i(r, \theta) = \rho g h_p(0) \sum_{n=0}^{\infty} q_n \left(\frac{r}{R} \right)^n \cos n\theta \quad (0 \leq r \leq R)$$

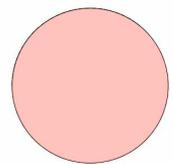
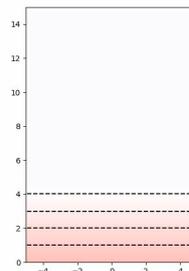
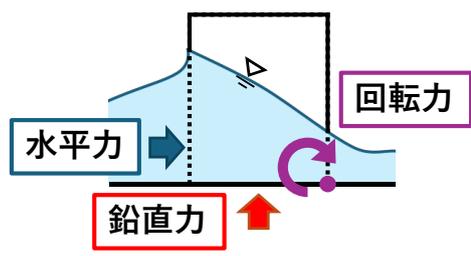
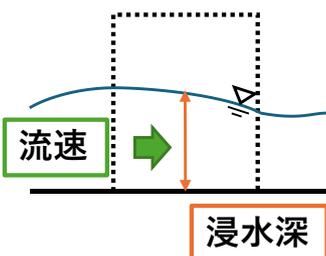
step4. 津波流体力の算定

$$F_o = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^R \rho g h_p(0) h_p(\theta) R \cos \theta d\theta = \frac{1}{2} \rho g [h_p(0)]^2 R \left(A\pi + B \frac{3}{4}\pi \right)$$

$$F_i = \int_0^R \int_{-\pi}^{\pi} p_i r d\theta dr = q_o \rho g h_p(0) \pi R^2$$

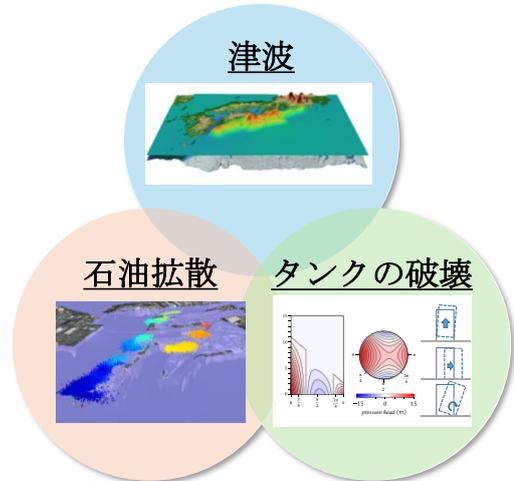
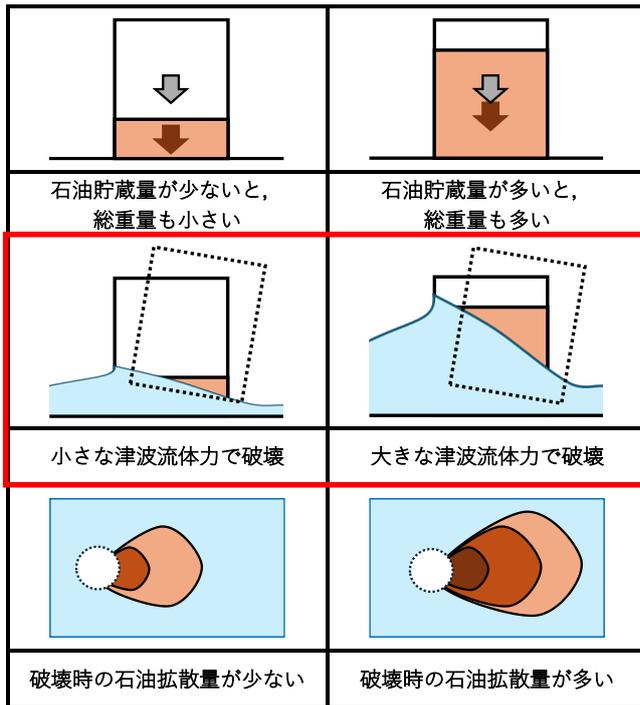


・正確さに欠けるが、瞬時に計算



タンク位置の津波の流速・浸水深さからタンクに作用する力を推定可能に
(流速・浸水深さが大きいほど流体力が大きく)

石油拡散シミュレーションとの統合において

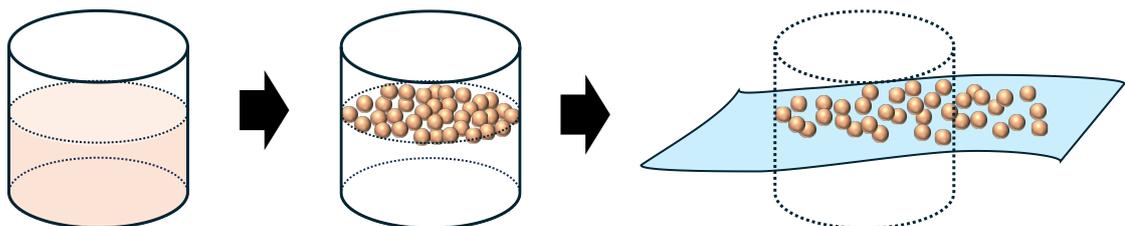


今回の統合においてはシナリオは非常にシンプル。
その他さまざまなシナリオを考慮すべきである（対策の有無・防油堤・液状化...）。

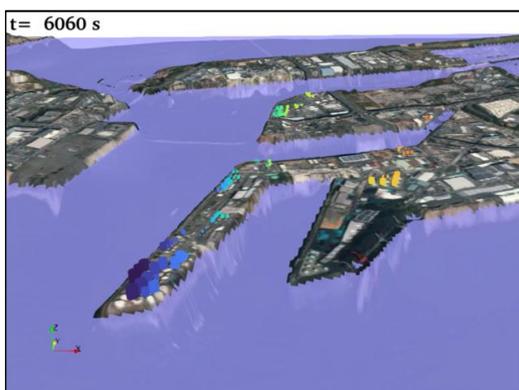
13

石油の粒子表現

石油の粒子によるモデル化



石油を粒子の集まりとして表現（港湾空港技術研究所のモデル）
拡散時には、海面上を津波の流れによって輸送される

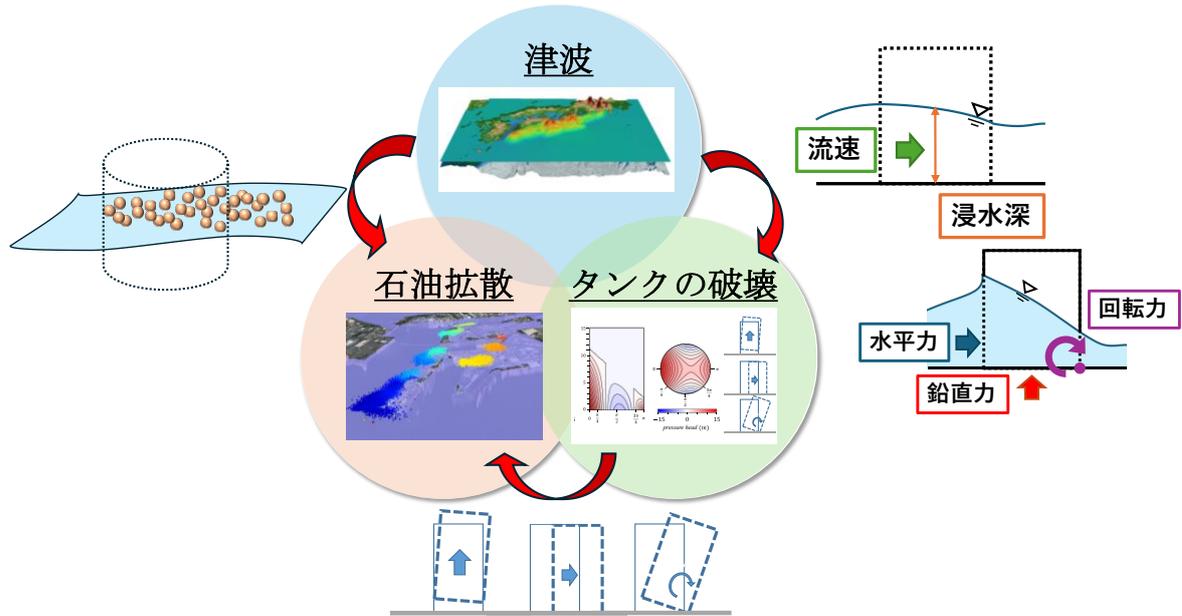


石油粒子に番号付けすることで石油貯蔵
タンクから流出した石油を追跡するこ
とができる。

今回は津波流れによる移動のみを考慮し
たが、風や石油自身の特性による拡散の
変化を考慮する必要がある。

14

石油拡散シミュレーションまとめ



石油拡散シミュレーションの構築のためのモデル化を行った

- 津波の流速・浸水深からタンクに作用する流体力が計算される。
- タンク重量による抵抗力を上回ると破壊したと判定される。
- 石油は粒子により表現される。（港湾空港技術研究所のモデル）

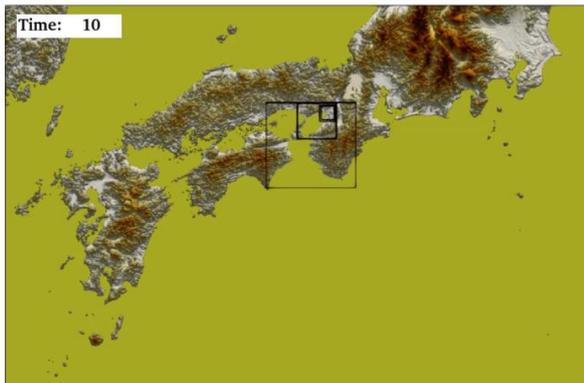
15

大阪北港地区でのシミュレーションの適用

構築したシミュレーションの大阪府への適用

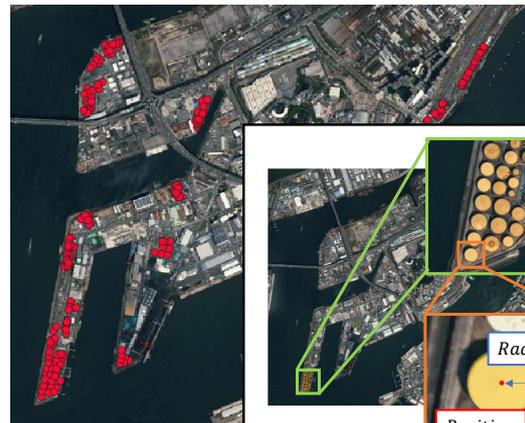
- 津波と地形のデータは国が公表しているデータを用いる
- 大阪北港地区の石油貯蔵施設を衛星画像から取得

津波断層モデル, ケース3
(大阪府の津波浸水想定図作成
に用いられる条件の1つ)



タンクの情報は衛星画像から取得
得られたタンクの数219個

● タンク

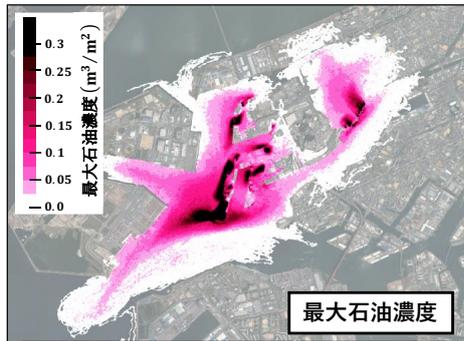
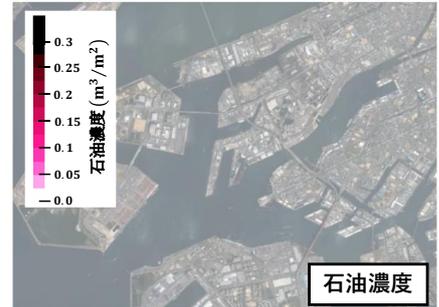
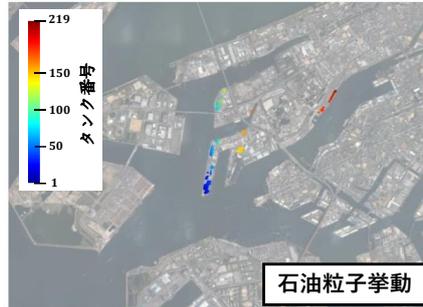
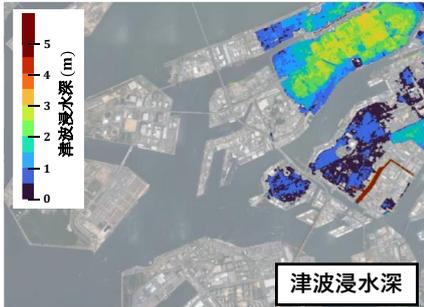


16

堤防なし条件での結果

堤防なし条件

Time: 10



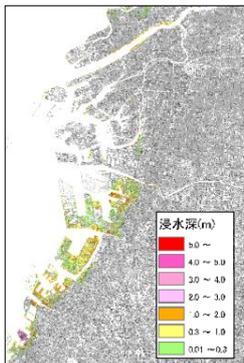
西側の石油が南西の海域に広く拡散

東側の石油が市街地に拡散

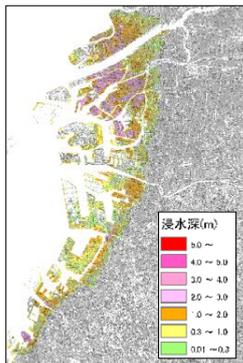
南西部の石油濃度が特に大きい

堤防あり条件における検討

国公表結果



大阪府の結果



津波シミュレーションは堤防の条件で計算結果が大きく変化

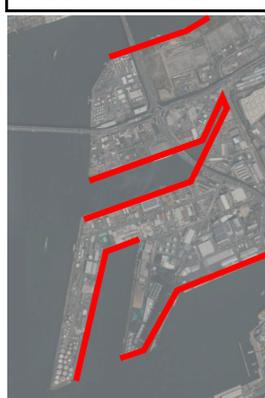


石油拡散シミュレーションでは堤防の影響がどのように現れるのか？

北側以外に堤防あり



西側以外に堤防あり

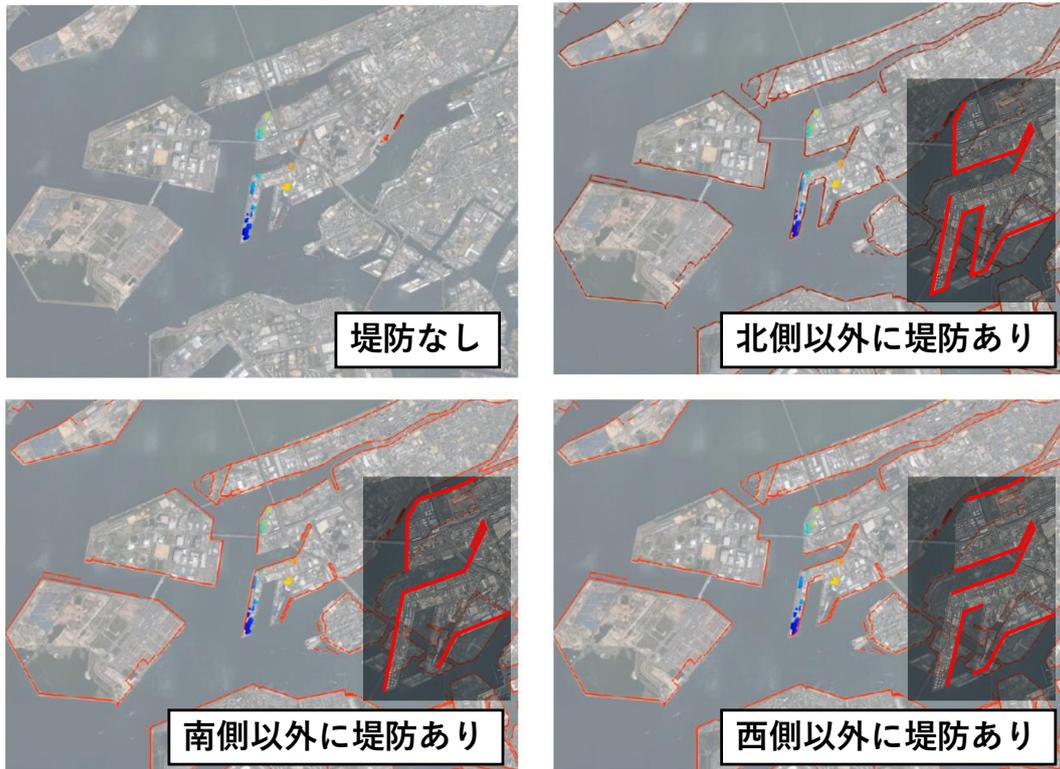


南側以外に堤防あり



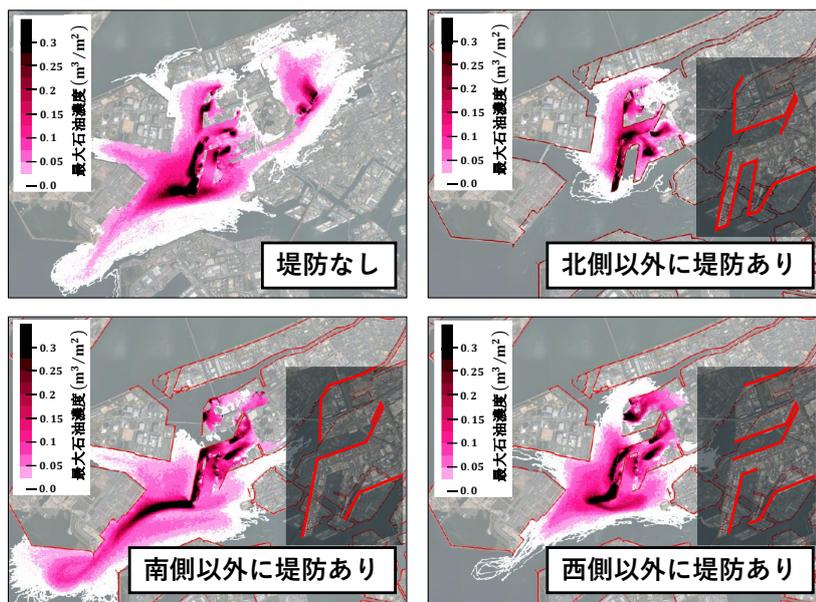
堤防あり条件での石油粒子挙動

Time: 10



19

堤防あり条件での最大石油濃度

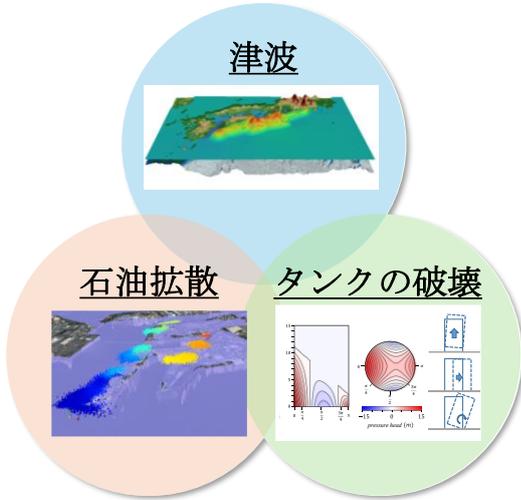


- 堤防の条件により石油の拡散挙動が大きく変化
- 津波の条件も含め、多岐にわたる条件で分析する必要がある (NATECHをシミュレーションすることの困難さ?)

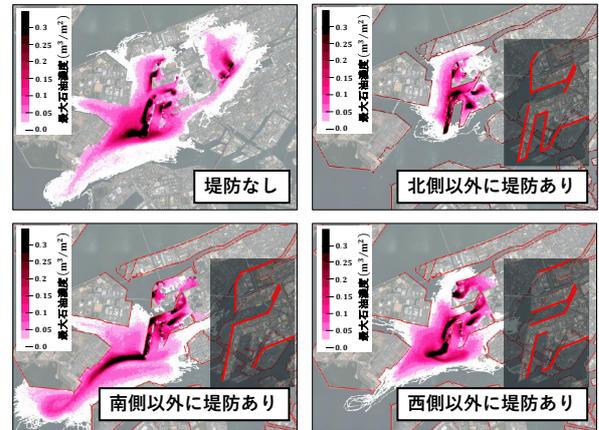
20

石油拡散シミュレーションまとめ

石油拡散シミュレーションの構築



大阪府北港地区への適用



シミュレーション手法・適用のいずれにも課題が存在
 手法の課題：シンプルすぎるモデリング
 適用の課題：データの正確さ・情報共有

シミュレーション手法の課題

- 風による輸送
- 石油の物理特性

*松崎・藤田(2012)

- 地震、液状化の影響

- タンクによる津波流れの変化

<https://www.eerc.co.jp/description/tsunami/>

*総務省消防庁(2009)

- 防油堤の影響
- タンクの移動に伴う拡散
- 衝突、座屈等による破壊
- パイプラインの破壊

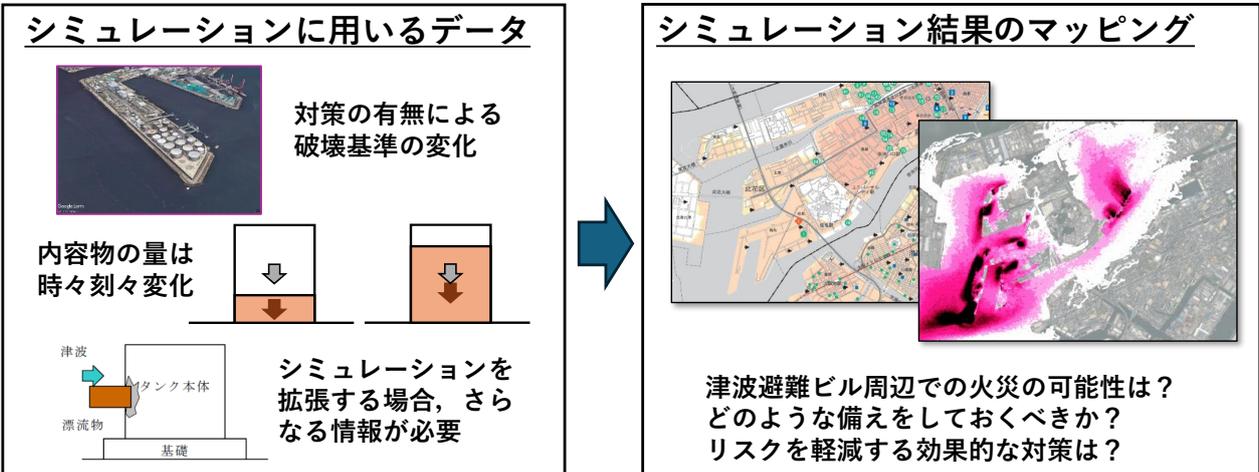
- 適切なモデル化のために分野横断な協力関係の構築が必要
- 地域ごとに、注目すべきNATECHハザードが異なる
- シミュレーションの限界を明確に示す

シミュレーション適用・情報共有に関する課題

津波シミュレーションでは...

- 適切なデータを用いることが重要で、データによって結果が大きく変化
- ハザードマップの作成が対策・リスクコミュニケーションに大いに役立つ

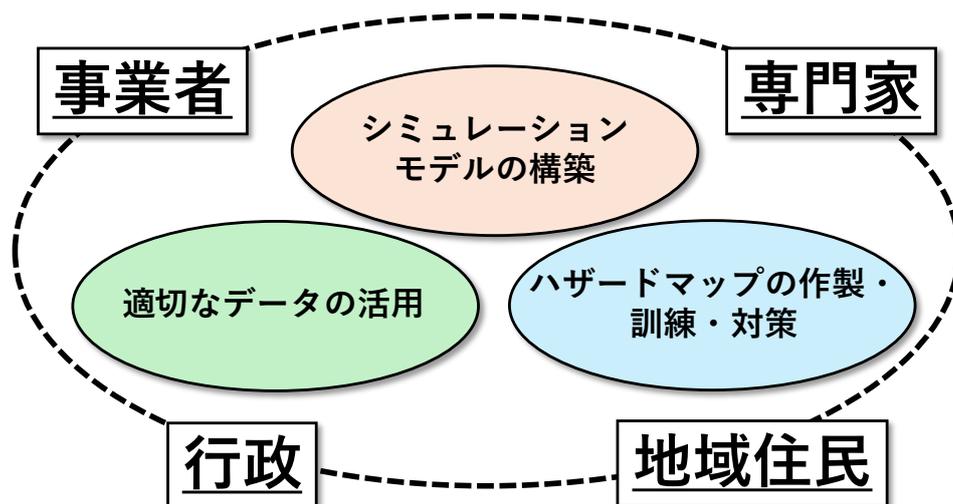
石油拡散シミュレーションでは...



- 事業者も含めた多様な利害関係者による情報提供が不可欠
- NATECHのために、どんなハザードマップを作成すればよいのか？

23

NATECHに関する協力関係の構築

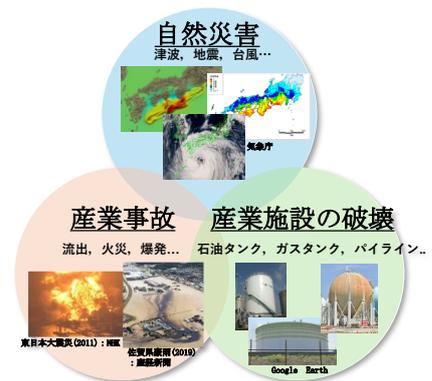


- モデル構築・データ活用・ハザードマップ作成いずれにおいても協力関係の構築が不可欠
- NATECHハザードマップの構築で役割を明確にできないか？

24

まとめ

- NATECHにおいて、シミュレーション手法を構築し、マッピングを行う必要がある
- シミュレーション構築にはシナリオをもとにモデル化を行う必要がある
- シミュレーションを実施するうえでは適切なデータを用いる必要がある



課題

- NATECHのシナリオは複雑であり、容易にモデル化できない
- シミュレーションに必要なデータは多岐にわたり、時々刻々変化する

シミュレーションモデルの構築やそれを用いたハザードマップ作成のために、分野横断かつ多様なステークホルダーによる協力関係の構築が不可欠

25

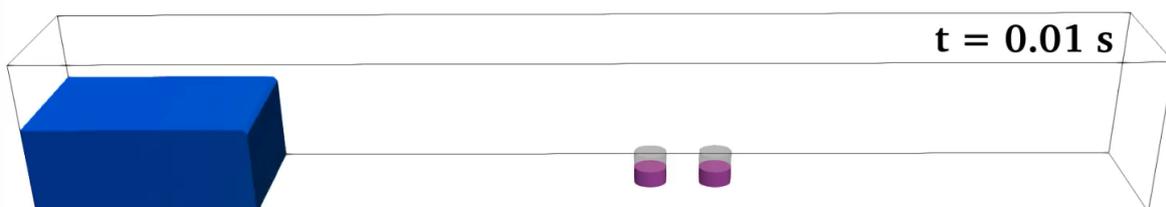
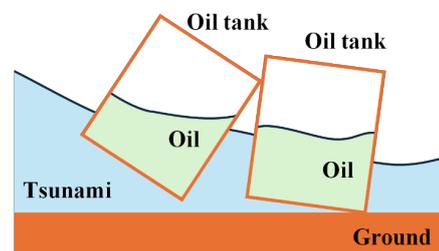
現在の自身の研究紹介

研究内容：

石油貯蔵タンクの津波による移動・衝突を解析するためのシミュレーション手法の開発

目的：

- 石油貯蔵タンクの津波による被災挙動を詳細に分析を可能にする。
- リスク評価や、被害を最小限にする設計・対策にも活用可能にする。



より複雑なNATECHシナリオを分析するために、より高度なシミュレーション手法の構築が急務である。

26