貯蔵タンクに対する津波被害の判定方法

菅付 紘一　㈱地震工学研究開発センター

原田 隆典　宮崎大学 工学部社会環境システム工学科

野中 哲也　㈱地震工学研究開発センター

中村 真貴　宮崎大学 工学部社会環境システム工学科

坂本 佳子　㈱地震工学研究開発センター

～宮崎大学発ベンチャー企業～

株式会社地震工学研究開発センター

Earthquake Engineering Research Center

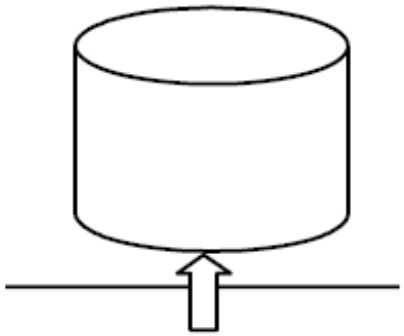
背 景

2011年3月11日　東北地方太平洋沖地震が発生
→津波により,道路,ライフライン,構造物などが被災
（例：貯蔵タンク等）

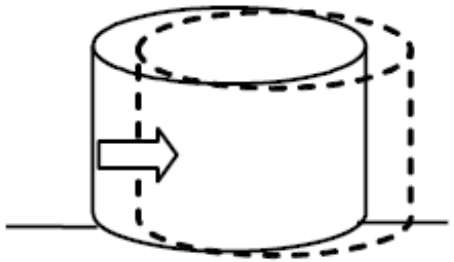
→貯蔵タンクは，重要生産施設内に多数設置され，中には非常に重要で危険な内容液を保管する施設でもあることから，それらが津波によって損傷して内容液が外部へ流出することは2次災害を引き起こす原因となり，人命に関わることから避けなければならない.

本研究では，3次元流体解析ソフト（OpenFOAM）による津波解析およびその結果を用いた構造解析を組合わせた方法で貯蔵タンクに対する津波被害の判定方法および適用事例について報告する.

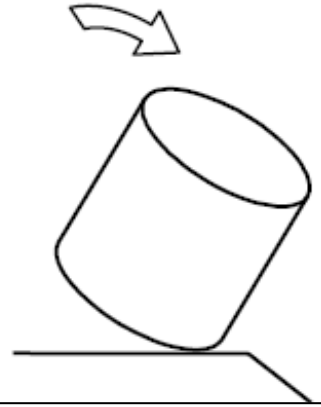
貯蔵タンクの被害形態



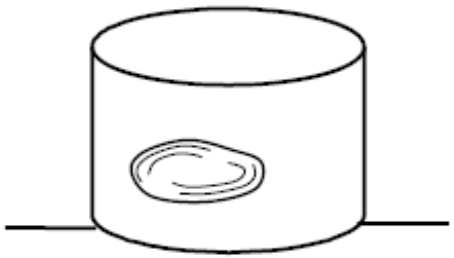
①浮上り



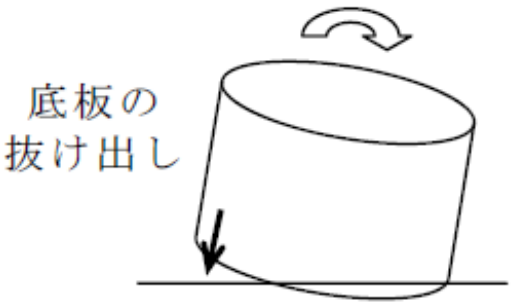
②滑動



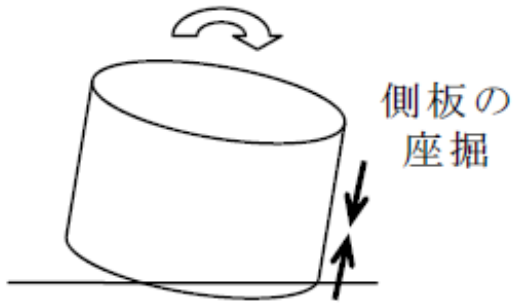
③転倒



④内外水圧差
による側板座屈



⑤タンク傾斜
による底板抜け出し



⑥タンク傾斜
による側板座屈

図：「危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討報告書」から引用

貯蔵タンクの被害判定方法の概要

実施手順

3次元津波解析の実施

↓

解析結果の評価
津波波力の算定

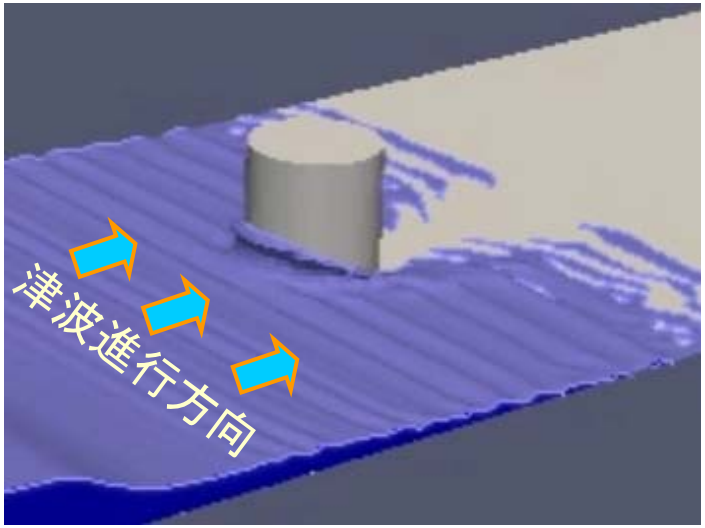
↓

3次元構造解析の実施
①初期状態の作成
②津波波力の載荷

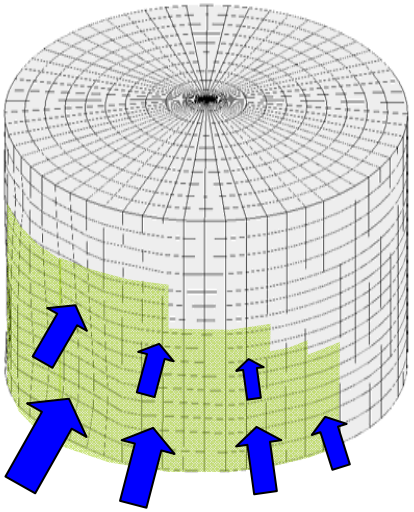
↓

解析結果を基に,
タンク津波被害の判定

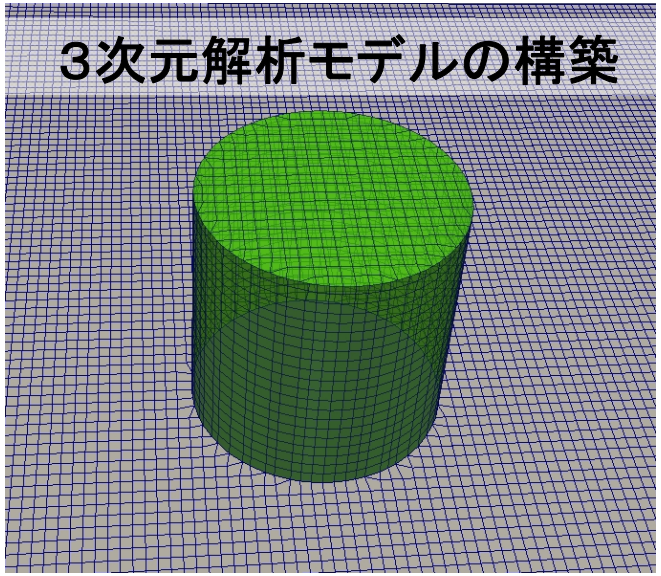
3次元流体解析



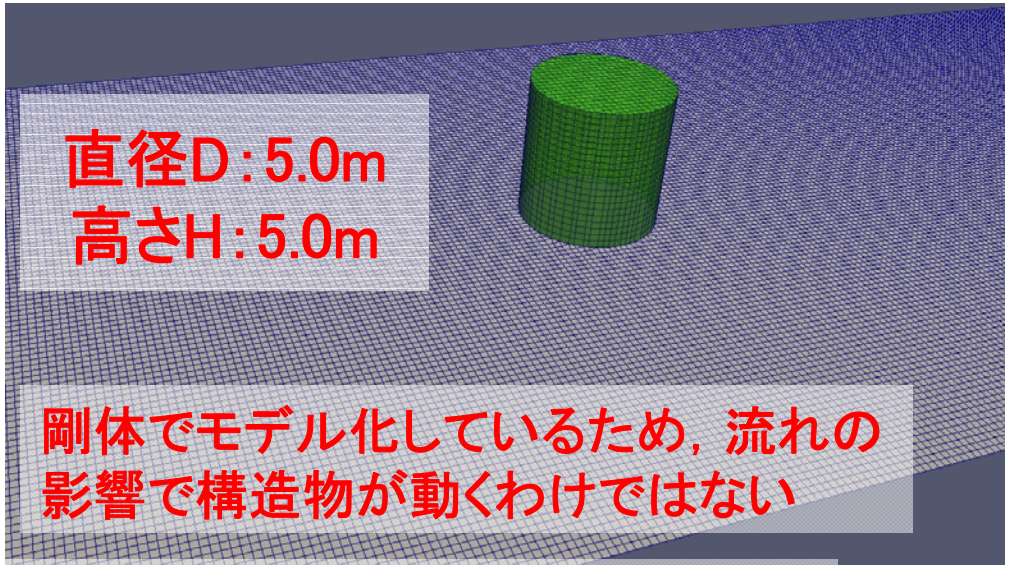
3次元構造解析



3次元流体解析空間モデル（OpenFOAM）

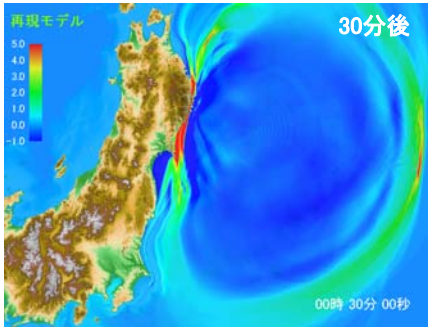


最小セルサイズ50cm
合計約264万セル

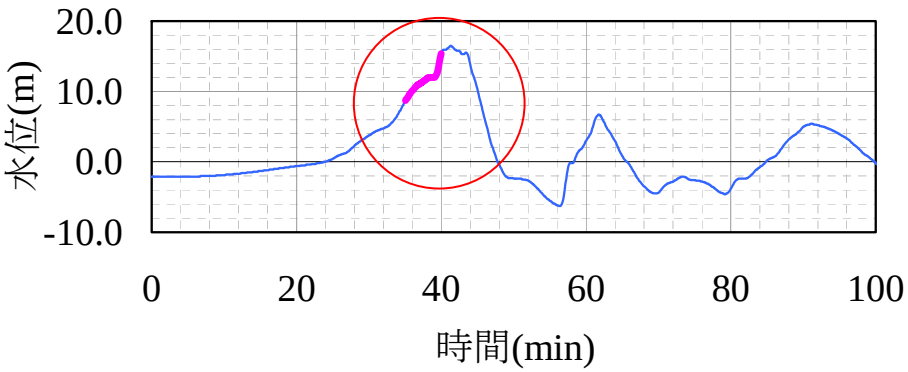


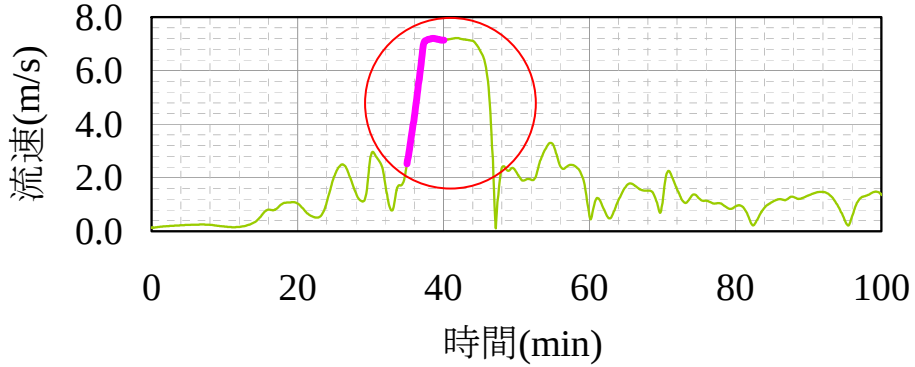
目的
・流体の挙動把握
・構造解析に作用させる圧力抽出

初期状態および造波の設定



造波条件は，対象橋梁付近の2次元津波解析結果を活用して初期状態と造波を設定



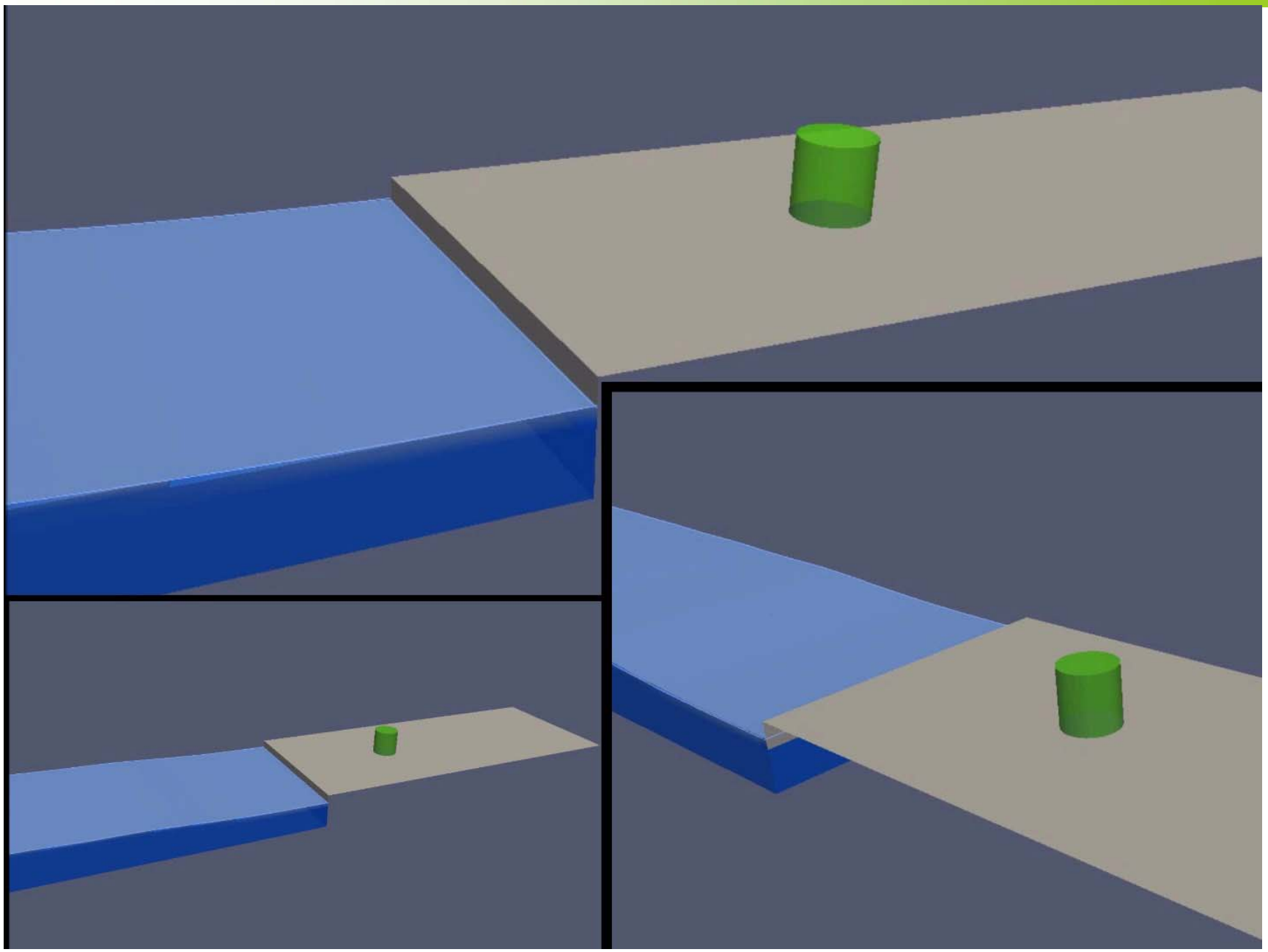


着色部の水位と流速を
造波境界から発生させる

注）本検討は想定の津波高さと流速を設定
最大波高：5.0m　（陸上を高さ0mとした波高）
最大流速：5.0m/s

※2次元解析から3次元解析の境界処理の受渡しが重要

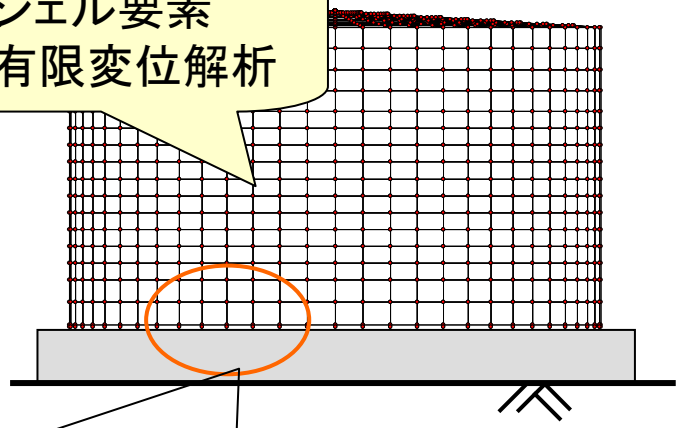
３次元流体解析シミュレーション

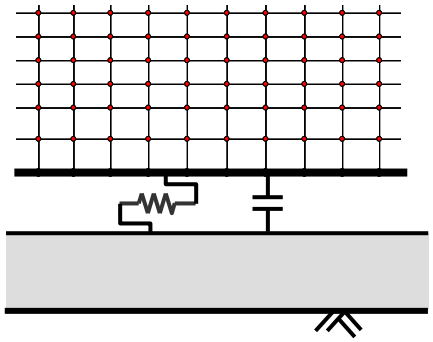


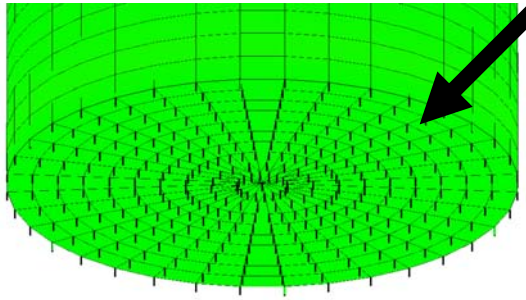
構造解析モデル

タンク本体および底面部のモデル化

・非線形シェル要素
・弾塑性有限変位解析

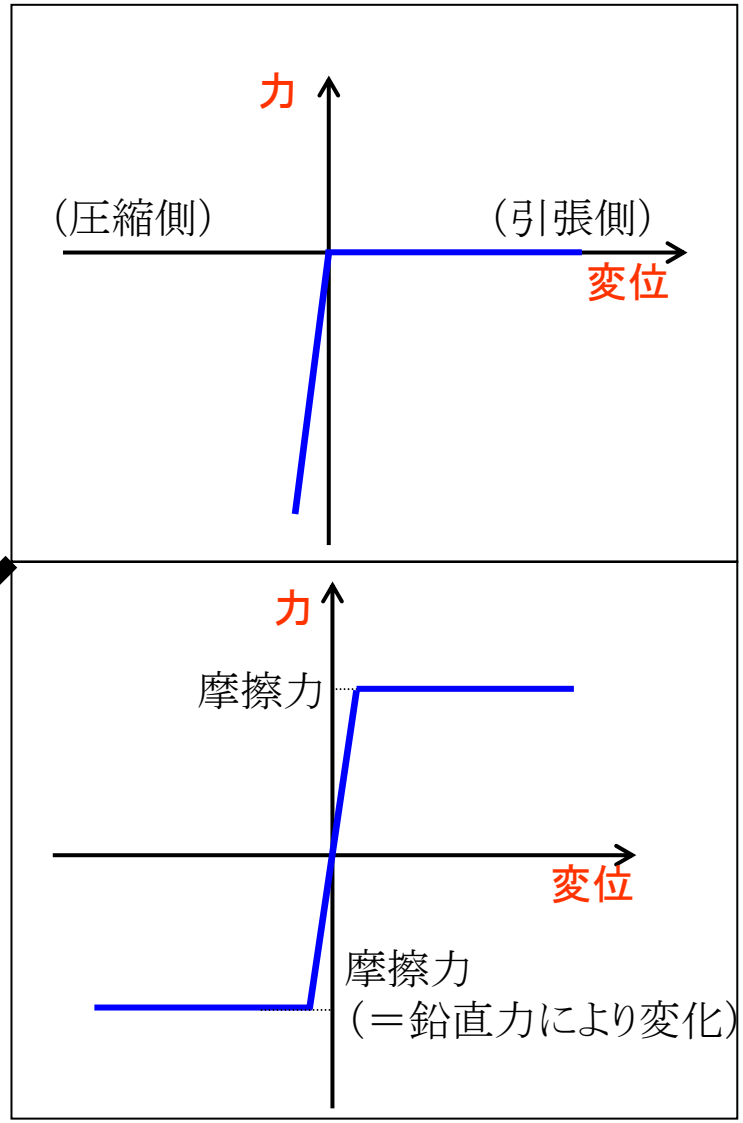






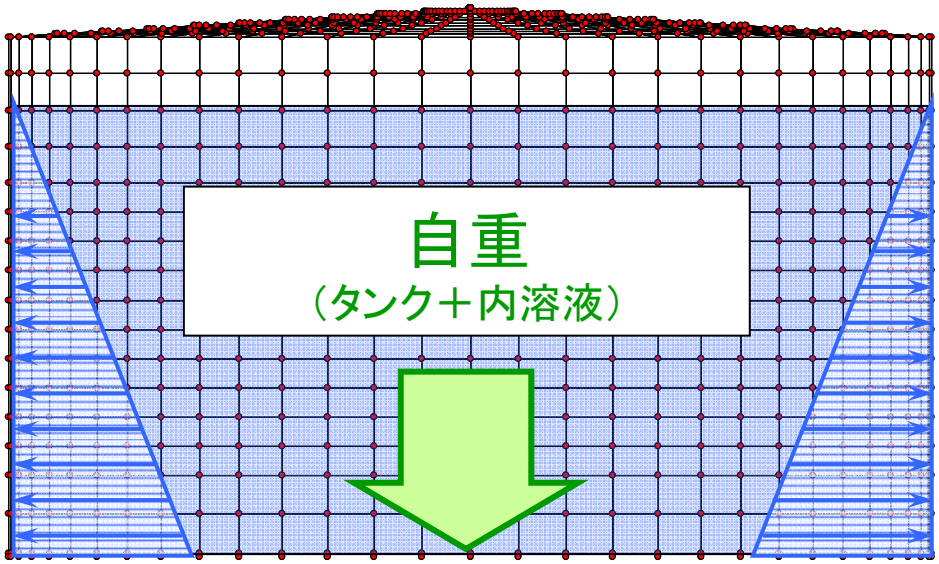
摩擦と浮上りを考慮

Winklerモデルを活用



構造解析条件：荷重条件（１）

ステップ1：初期状態の荷重載荷



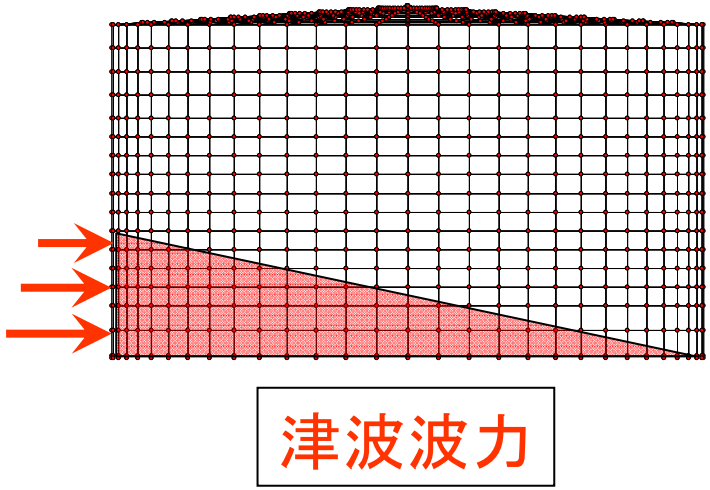
静水圧

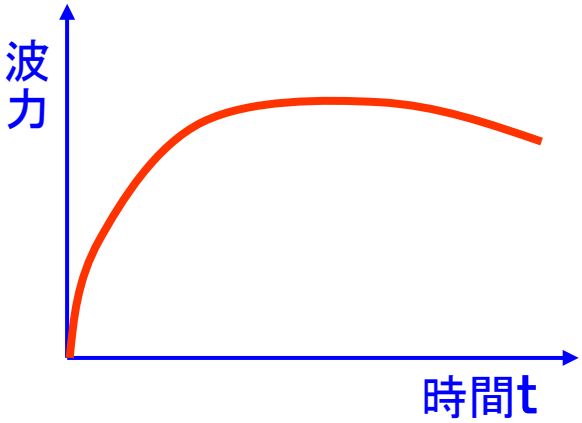
●固定荷重

構造解析条件：荷重条件（２）

ステップ2：津波波力の作用

・津波が衝突する波力

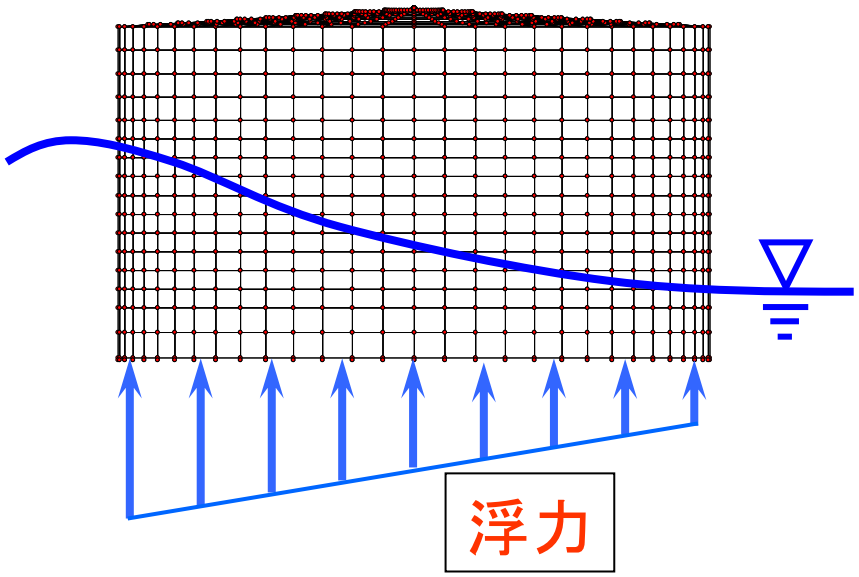




●変動荷重

（時間により変化）

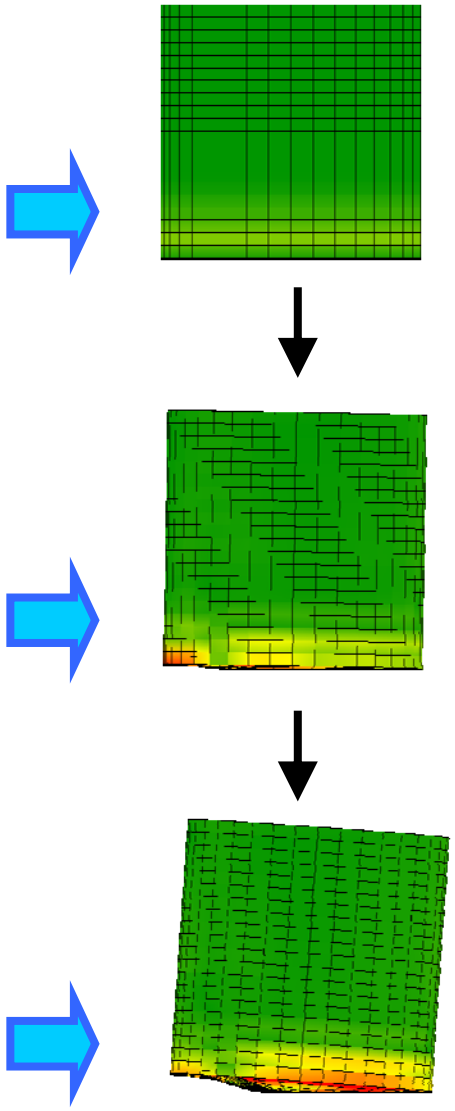
・水位増減による変動する浮力



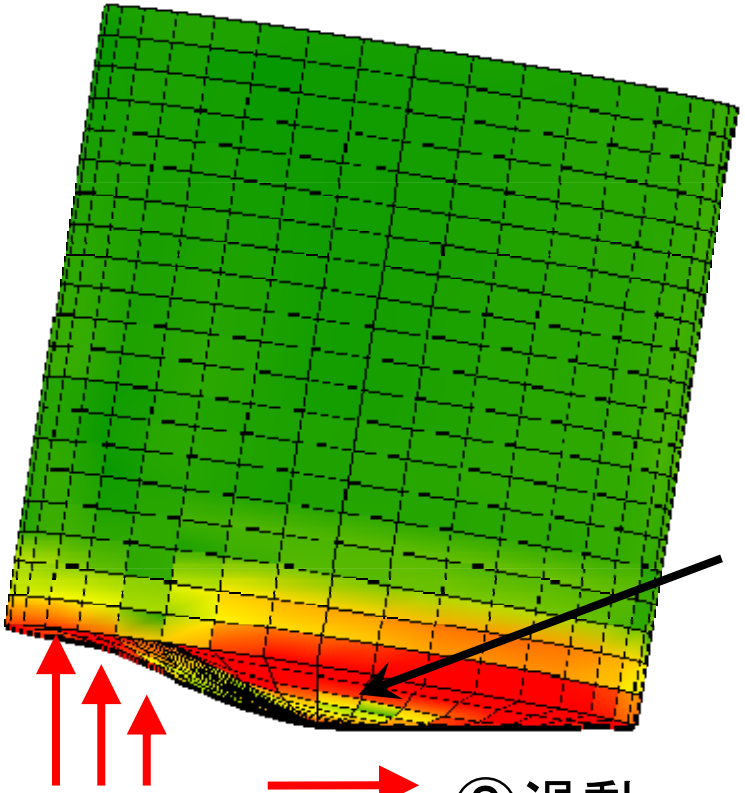
浮力F[N]は，次式で計算され，タンク（内溶液含む）の密度に関係なく，流体（ここでは海水）の密度とタンクの体積だけで決まる．

$F = \rho V g$　（ρ：密度，V：体積）

構造解析シミュレーション結果



終局状態
構造不安定で計算ストップ



⑤タンク傾斜
による底板抜
出し

②滑動

①浮上がり
③転倒

まとめ

提案する解析モデルおよび解析方法による判定方法で，貯蔵タンクに対して，詳細な津波被害の判定が行えることが判った．

さらに，この方法を用いれば，タンクに発生する力学特性がわかるため，津波に対する補強対策にも有効に活用できると考えられる．