

プロアクティブ・リサーチ commons 演習 (Aグループ)

## 石油タンクの地震時の挙動および内容物の漏洩に関するシミュレーション

一流体構造連成解析から3Dホログラムによる次世代可視化手法についてー

新領域創成科学研究科 人間環境学専攻

47209808 田原 道崇 (科目等履修生)

47207620 里田 啓 (博士1年)

47206711 和田 一宏 (修士1年)

# 1. 背景と目的

## 【解析のモチベーション】

- 日本国内の石油コンビナートは1960年代～1970年代に建設された設備が多い為、老朽化していることや、臨海部の埋立地に設置されていることが多い為、南海トラフ巨大地震等が発生すると設備の倒壊、液状化や護岸の側方流動等による地盤変状等により大規模災害を引き起こす懸念が有る。
- 原油タンクや製品・半製品タンクは大量の可燃性物質を内包していることから、設計地震動以上の地震が発生し、タンクに損傷が生じると大量に内容物が外部へ漏洩し、火災を引き起こす可能性がある。



本演習では、内容量500kℓ、8,000kℓのタンクを対象に、まず、既往の被害地震を想定地震とした時刻歴応答解析を実施し、タンクの応力状態から損傷に至るかどうかの確認を行う。

次に、損傷が生じると仮定し、タンクから外部への内容物の漏洩に関するシミュレーションにより漏洩の様子を確認する。

# 1. 背景と目的

## 【可視化のモチベーション】

- With/after COVID-19により、リモートワークが主流となりつつあり、対面でのコミュニケーションよりもオンラインによるコミュニケーションが日常になりつつある。
- 通常のオンライン会議システムでは、相手の顔がスクリーン越しに2次元で確認できるが、より臨場感のある新しいコミュニケーション手法として、SF映画でしばしば見受けられる3Dホログラムで、あたかもそこに相手がいるような臨場感の有るバーチャルコミュニケーションを実現したい。



リアルタイム3D配信においてはソフトウェアの強化が必要と考えるので、まずは、可視化ツールとしての3Dホログラムの可能性を検討する。

次世代可視化手法として、前述のシミュレーションから得られる結果を3Dホログラムを用いて投影することで、サイバー・フィジカル融合空間を構築する。

今回は、流体構造連成解析から得られる結果の動画ファイルを用いて、3次元的に可視化を行う。

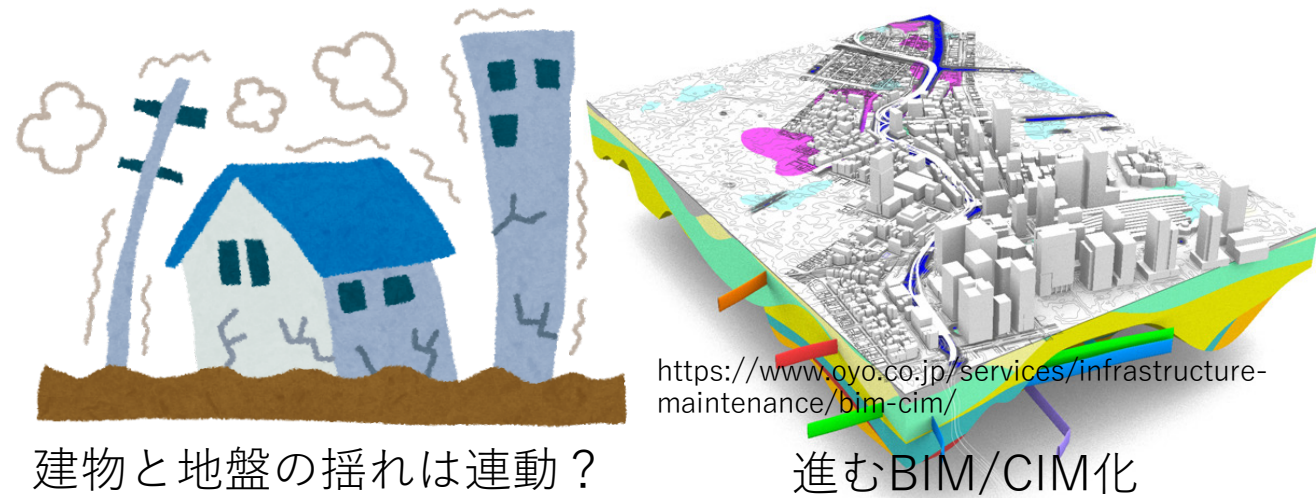
## 2. タンクの時刻歴応答解析 —実施した方法—

目的：タンクと地盤の連成解析を実施し、タンクの損傷度合いを調査する。

背景：建築物の設計時には、基礎部分に地震動を入力して構造解析がなされている。BIM/CIM化が進む中、地盤の応答解析は1次元、構造解析は1次元による結果を用いてよいのだろうか。

目標：タンクと地盤の連成解析  
タンク：流体-構造連成解析  
地盤：非線形を考慮した解析

今回：タンクのみ動解析  
(入力：1995年兵庫県南部地震)



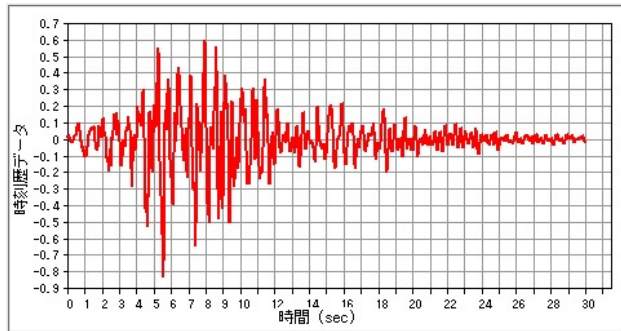
最近、地盤と建物の連成解析は実施されるようになってきた



液体を含む構造物（原油タンクなど）の挙動はどうだろうか。

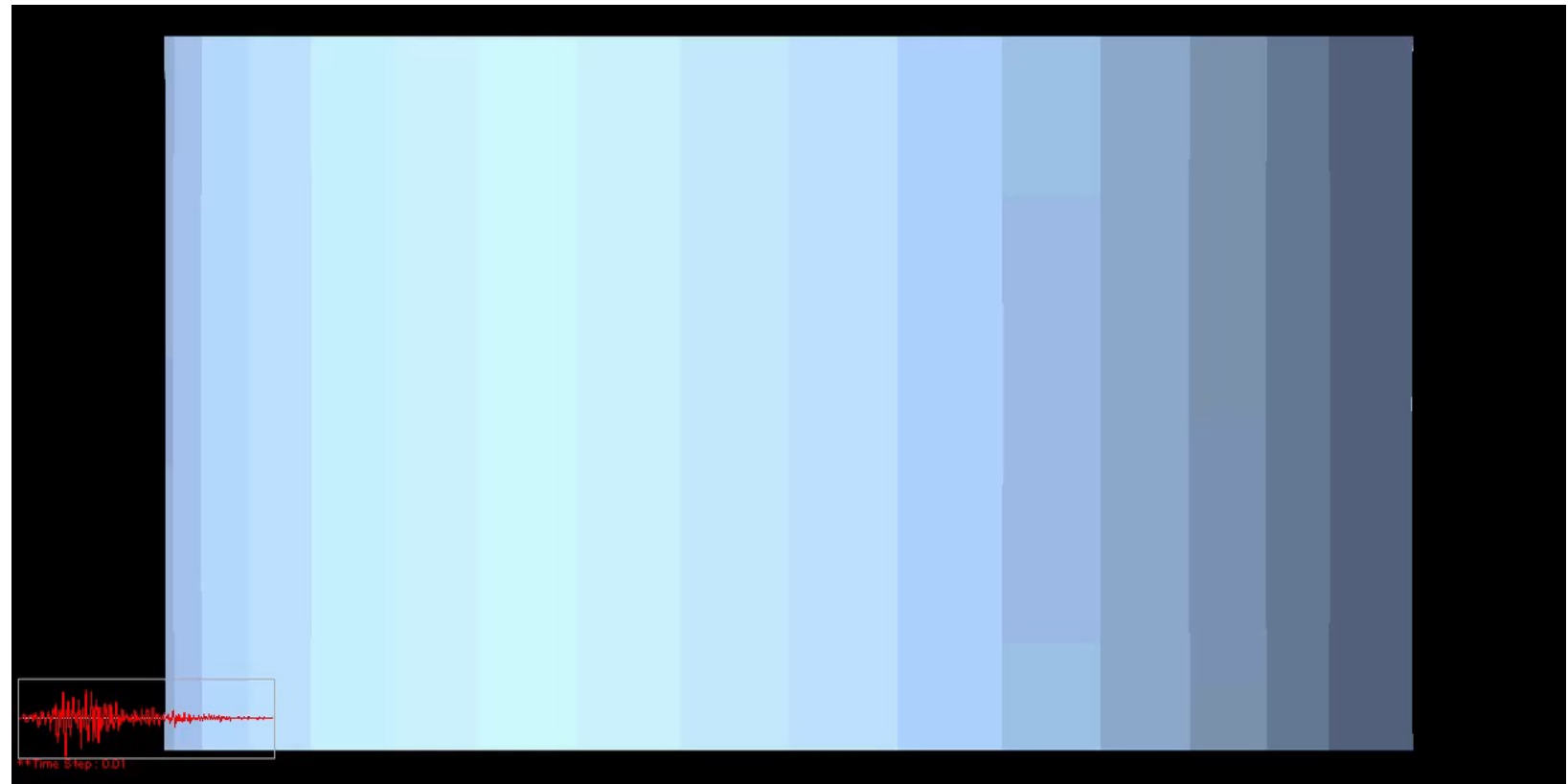
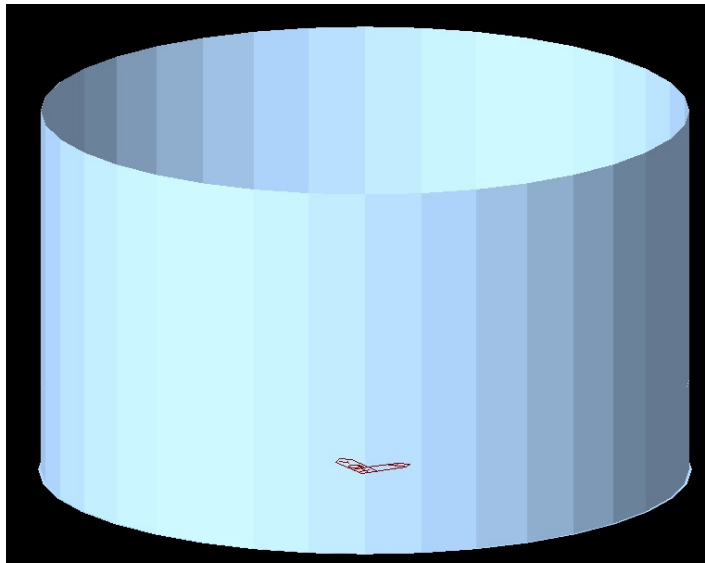
## 2. タンクの時刻歴応答解析 —結果—

- 理想：FrontISTRを用いた流体と構造の連成解析を実施する
- 現実：タンクのみを一般的な構造解析ソフトを用いて解析。



入力地震動（JMA神戸）※

※本グラフの縦軸は無次元加速度（絶対加速度/重力加速度）



### 3. タンクからの漏洩解析 —実施した方法—

#### 【モデル化及び解析手法（やりたかったこと）】

- FreeCADを用いてタンク及び内容物をモデル化
- FreeCAD上でOpenFOAMを用いて気液二層流の解析をVOF法で行う。

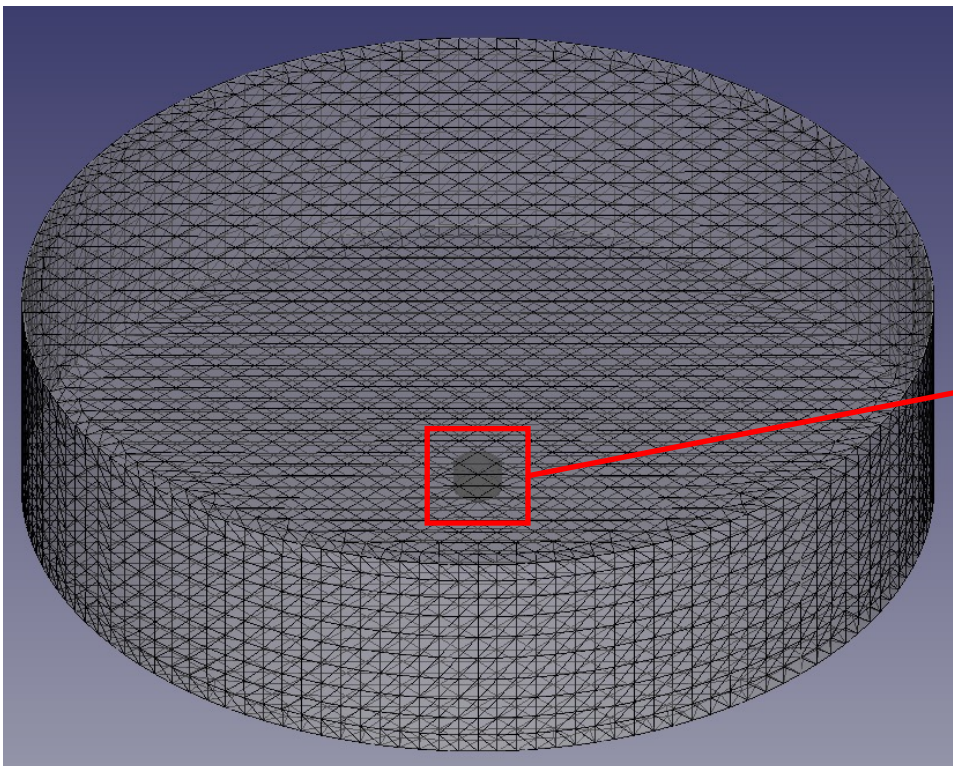
#### 【条件】

- タンク内容物はガソリンとし、比重、動粘性係数は20°Cの場合と仮定
- 漏洩口は払出配管ノズルの断面の1/100の大きさを仮定

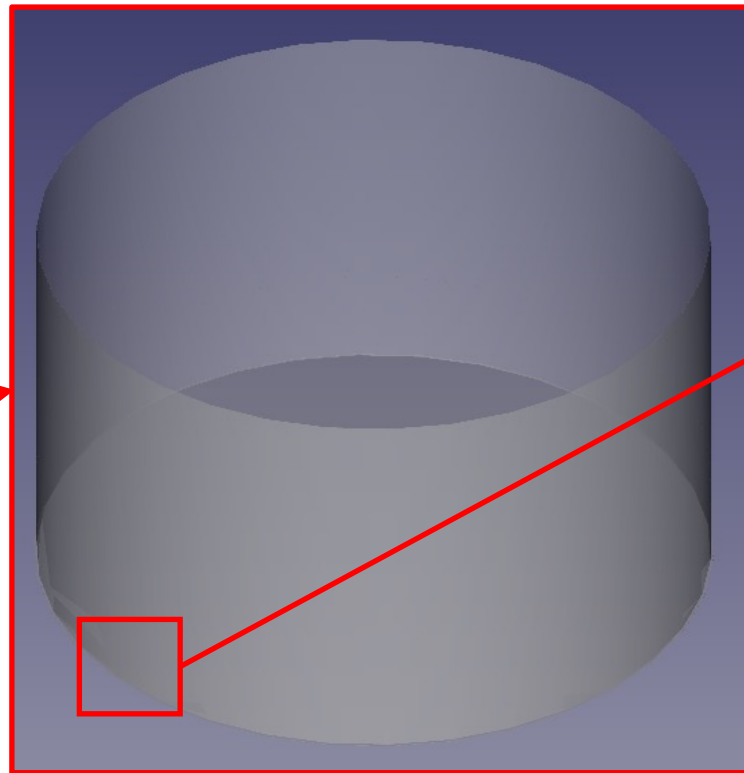
#### 【やれたこと・やれなかったこと】

- FreeCADを用いてOpenFOAM用のCFDメッシュの生成はできた。
- 境界条件・流体のプロパティもすべて設定できていた。
- 解析がうまく行かない原因として、FreeCAD上でOpenFOAMを動かす際に、FreeCAD上でソルバーが表示されていないので、うまくOpenFOAMのソルバーを実装出来ていなかったと思われる。

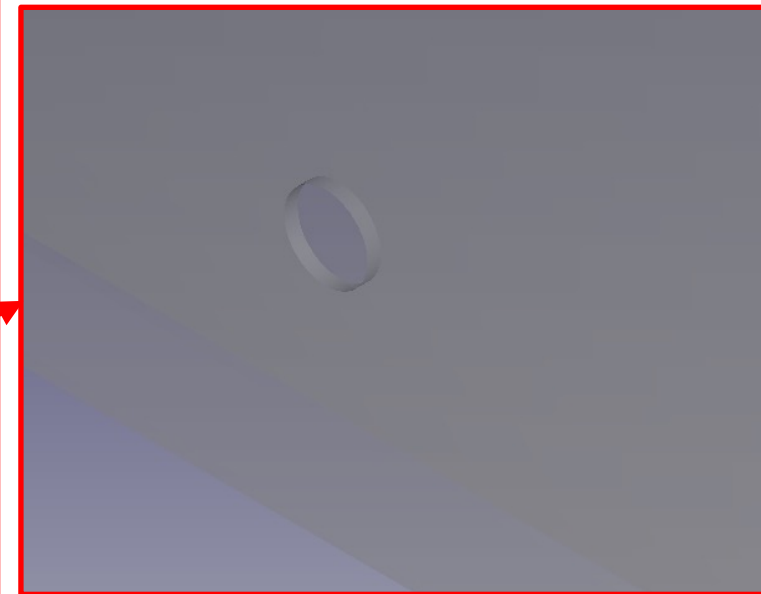
### 3. タンクからの漏洩解析 —結果—



FreeCADによるモデル図（全体）



境界条件“Wall”（タンク本体）

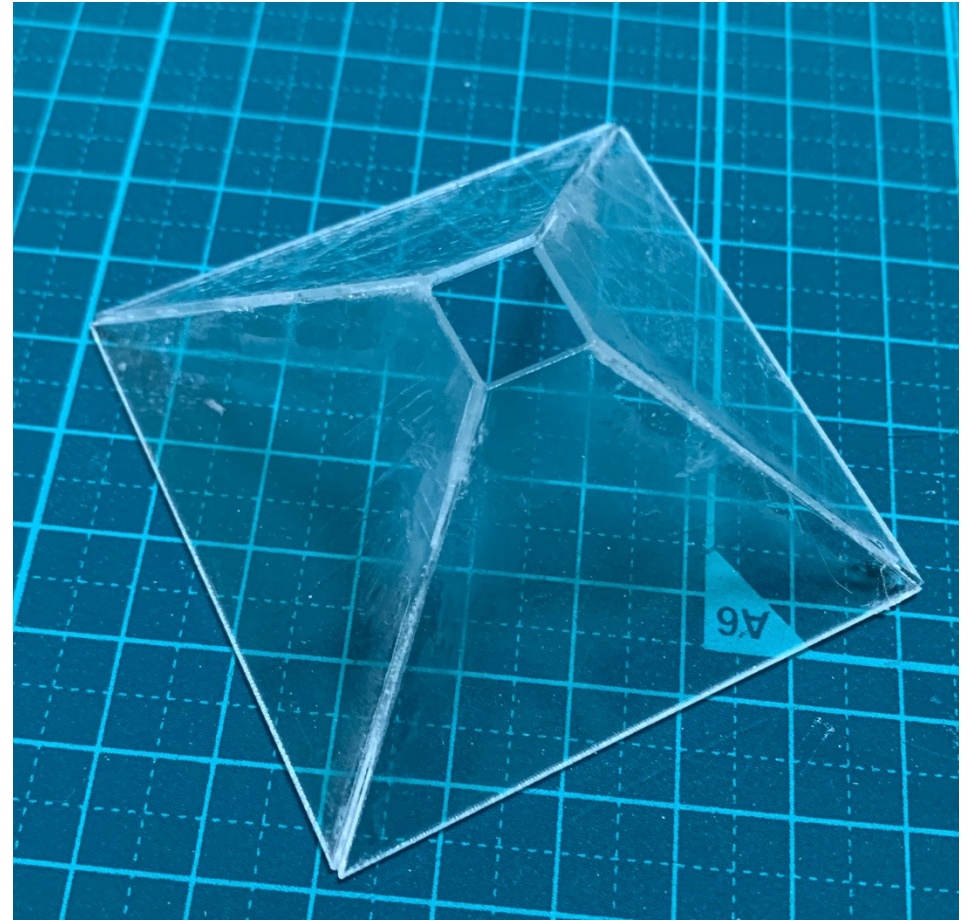
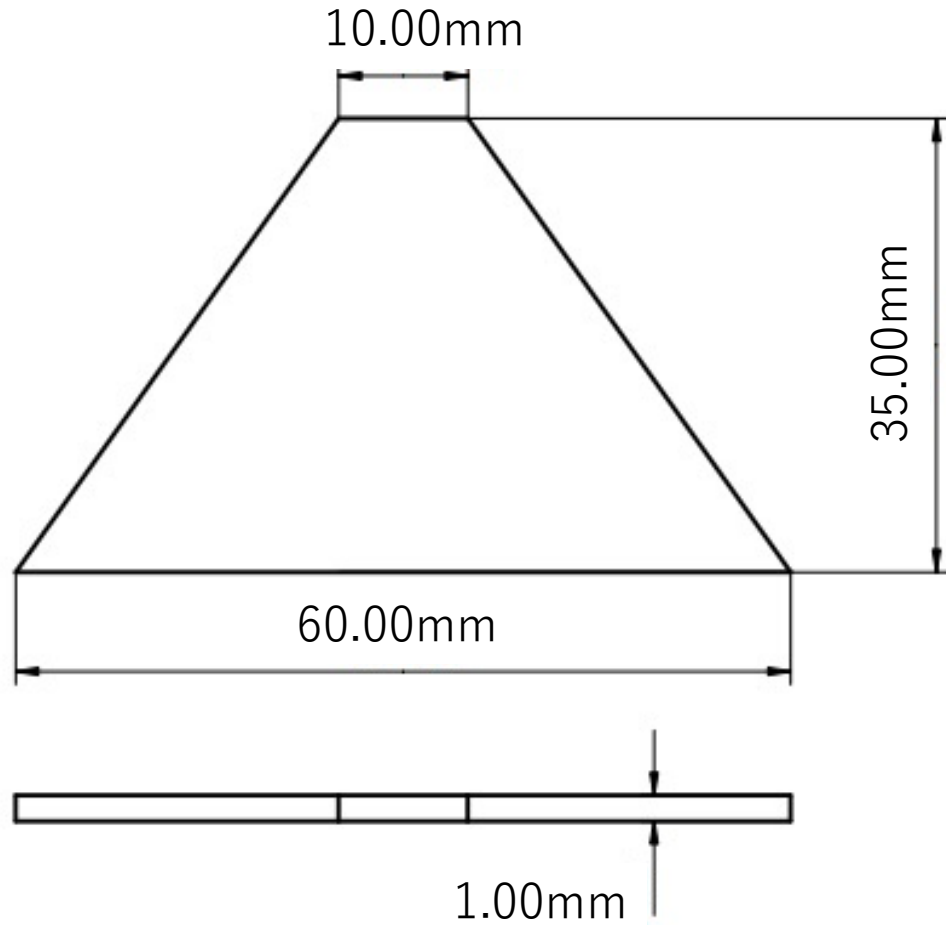


漏洩口

FreeCADフォーラム（FreeCADのユーザー会みたいなもの）で公開されている他の例題を用いて、解析が実行できるか試してみたが、OpenFOAMの設定がうまくないのか、メッシュは生成できるが、解析が実行できなかった。  
→今後は、解析が実行できるようにOpenFOAMの使い方含めて検討していく。

#### 4. サイバー・フィジカル融合空間の構築 (3Dホログラムによる可視化)

スクリーンの作成

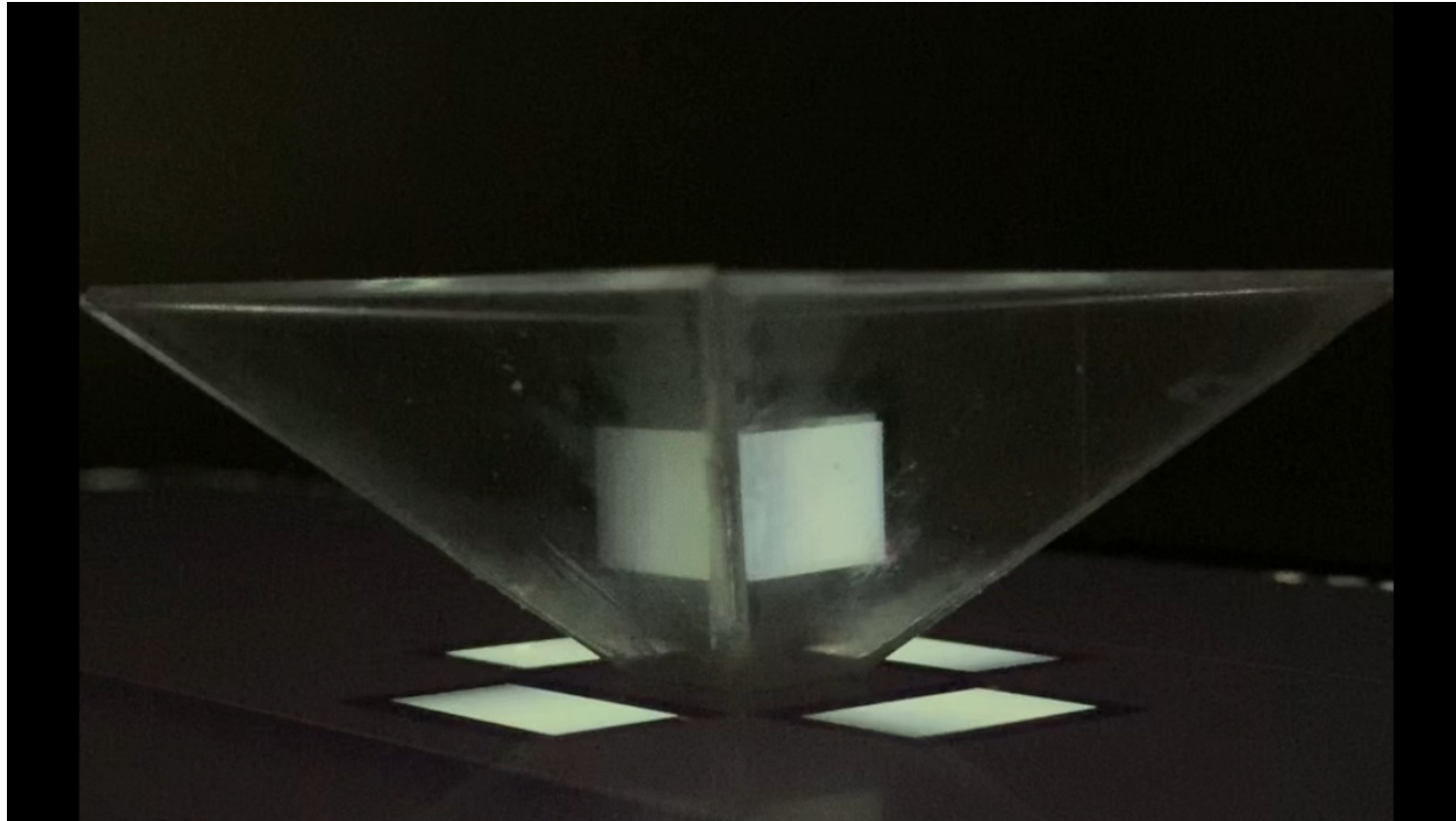




## 4. サイバー・フィジカル融合空間の構築（3Dホログラムによる可視化）

可視化された解析結果は三次元であるが、表示する画面が平面であるため、しばしば分かりにくいことがある。

そこで、3Dスクリーンを作成して結果を立体的に表示した。



この3Dスクリーンでは4方向からの動画をスクリーンに写すことで、立体視を再現している。

## 5. まとめ

### 【時刻歴応答解析】

- 今回の解析モデル（500kl）は要素数828、節点数1549で非常に荒いモデルにもかかわらず、約35,000ステップの時刻歴応答解析を行うと、計算に半日以上かかった。
- 今後は、PCクラスタを用いて、FrontISTRによる地盤－構造物－流体連成解析を実施してみたい。

### 【漏洩シミュレーション】

- FreeCADでOpenFOAMワークベンチを動かすことに挑戦したが、OpenFOAMの知識が無さ過ぎてうまく行かなかった。
- STAR-CCM+のような商用コードを使えば、簡単に解析できそうだが、それではつまらないので、もう少し挑戦したい。

### 【可視化（3Dホログラム）】

- 解析結果の動画を3Dホログラムで可視化する事が出来た。