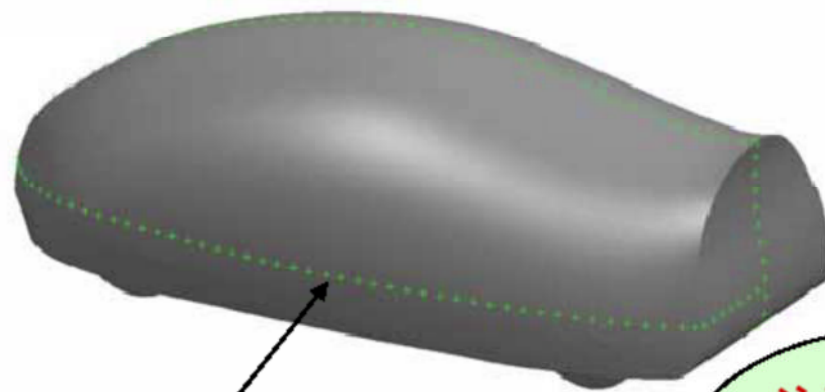
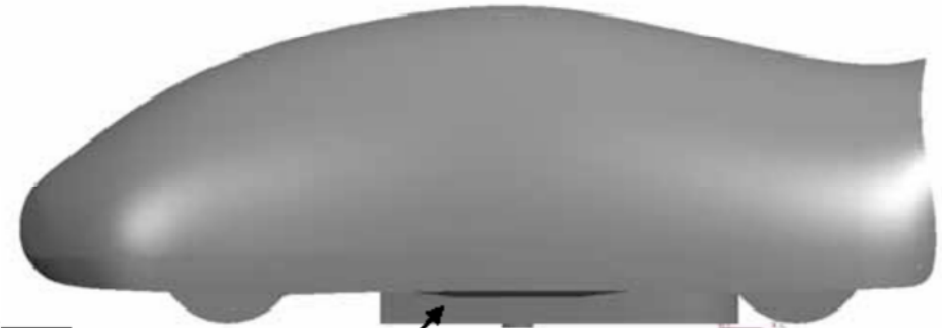


e-flowの解析精度 2006年3月8日

自動車技術会 シンポジウム「CFDの品質向上に向けて」

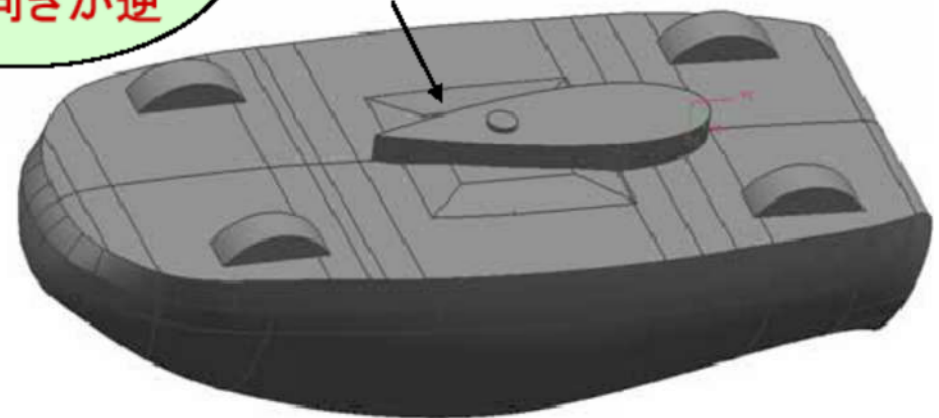
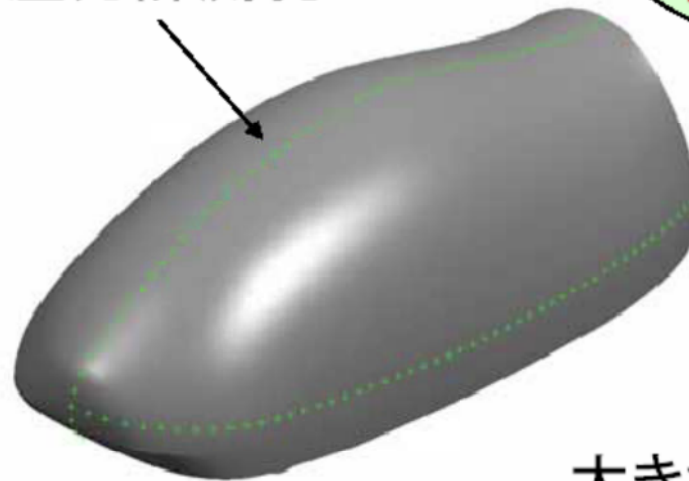


緑の各点:
圧力計測孔



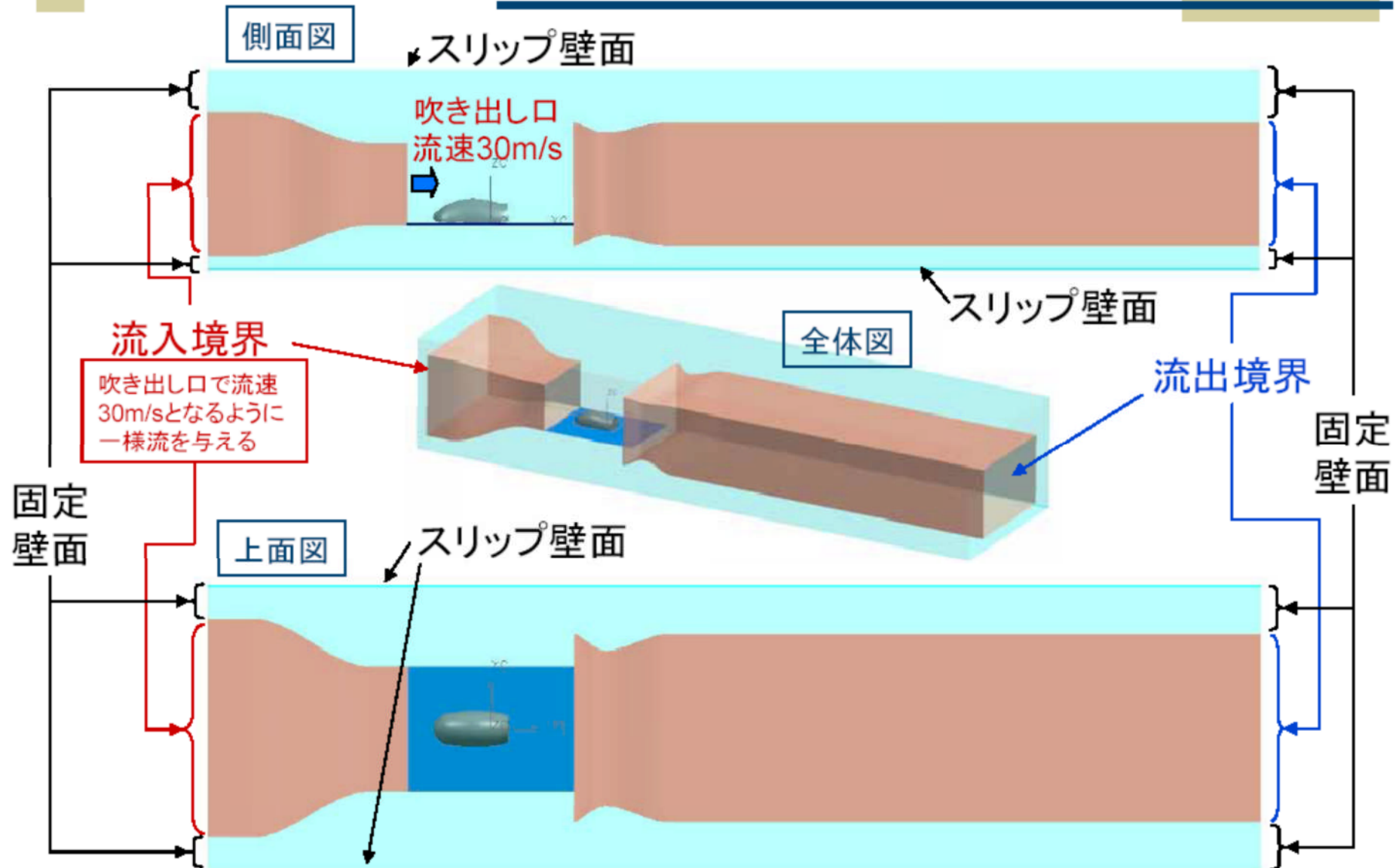
計測時につけられた
圧力チューブカバー

注)この図は
カバーの
前後向きが逆



大きさ: 1/5スケール

計算条件・計算領域



側面図

スリップ壁面

吹き出し口
流速30m/s

流入境界

吹き出し口で流速
30m/sとなるように
一様流を与える

全体図

スリップ壁面

流出境界

固定
壁面

固定
壁面

上面図

スリップ壁面

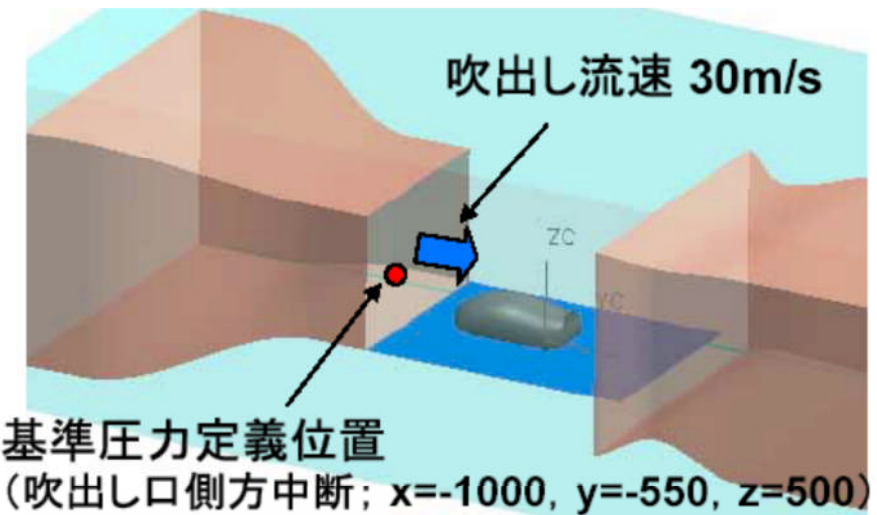
評価項目

評価項目

偏揺角 0° , 20° の各々について

- 空力係数 C_D , C_L , C_S
- 表面流線
- 表面圧力 (C_p) 分布
- ウェイクの総圧分布

但し、いずれも今回の評価は、
時間平均量のみ。



$$C_{p_t} = \frac{p_t - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho u_\infty^2} \quad \left(p_t = p_s + \frac{1}{2} \rho u^2 \right)$$

総圧無次元化の定義式

p_t : 総圧, p_s : 静圧,

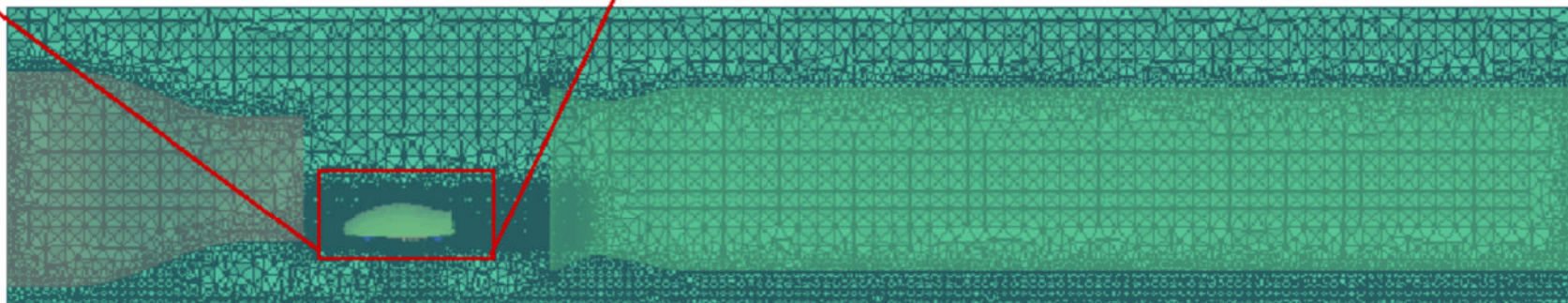
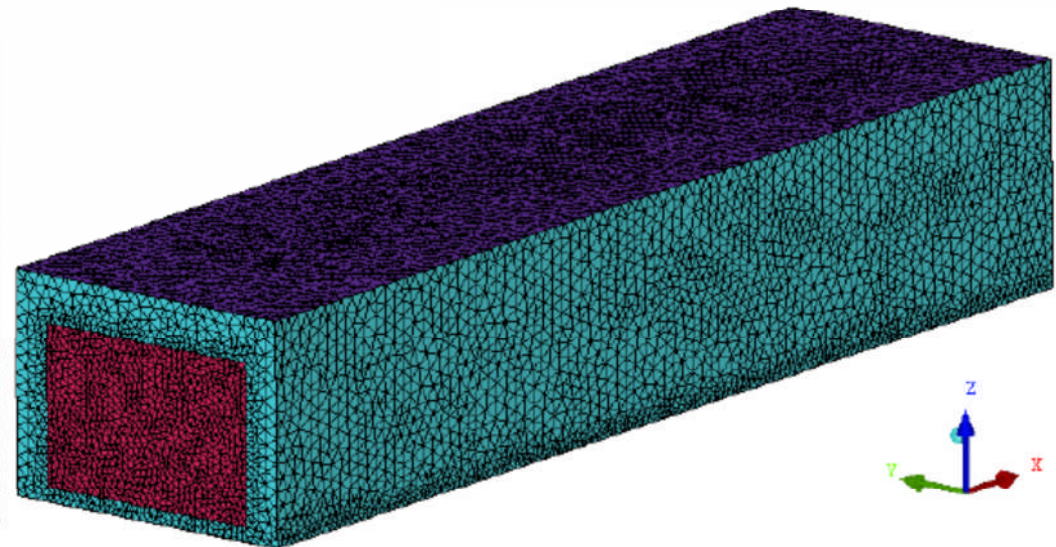
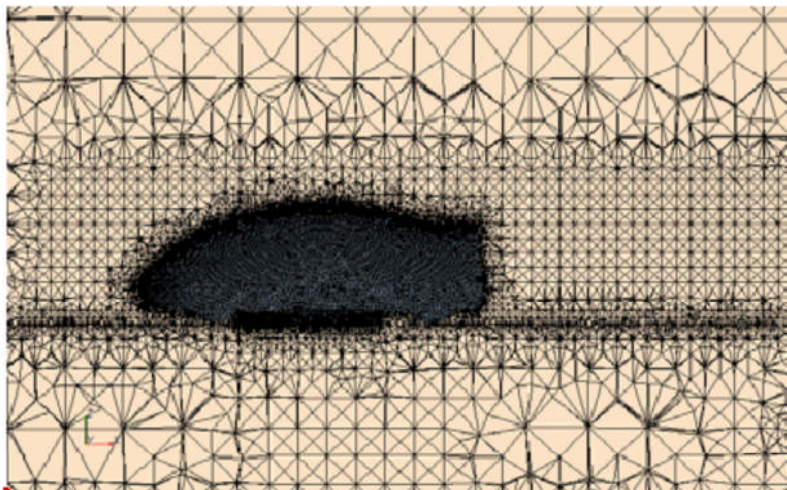
p_∞ : 基準圧力, u_∞ : 基準速度

参加ベンダー／ソフトウェア

ベンダー	ソフトウェア	略称
(株)ウェーブフロント	CFD-ACE+ V2006	ACE
	Esperanza	Esper
アンシス(株)	ANSYS CFX-10.0-SP1	CFX
フルエント・アジアパシフィック(株)	Fluent 6.2.16	Fluent
(株)ソフトウェアクレイドル	SCRYU/Tetra for Windows V6	SCT
(株)シー・ディー・アダプコジャパン	STAR-CCM+ v2.01.702	STAR
(株)ディライト	CFD++ version 5.2	CFD++
(株)計算流体力学研究所	Nagare3D.g (改良版)	Nagare
東京理科大, (有)鬼頭技術 事務所, 北大	Front Flow / red	FFR
(株)環境シミュレーション	e-flow V3.51	e-flow

計算格子

- 標準メッシュを提供するが、独自メッシュでの参加も可とする。



計算格子(続き)

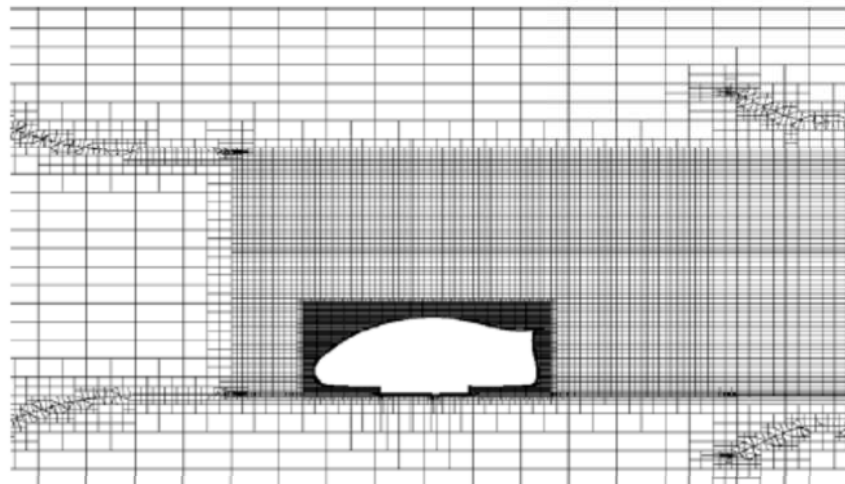
- 標準メッシュが最もメッシュ数が少なく, 最小格子間隔も粗い.
- Esperanza は空間メッシュが不要.

ソフト	格子系	最小格子間隔	要素数	節点数
ACE	Hexa(階層)	0.275mm	1930万	2940万
Esper	サーフェスのみ		13,548	
CFX	T+P(20層)	0.03mm	440万	120万
Fluent (提供メッシュ)	T+P(1層)	5mm	183万	37万
SCT	T+P(2層)+Py	1mm	326万	73万
STAR	T+P(3層)	0.1mm	481万	110万
CFD++	T+P(25~30層)	0.01mm	870万 (ハーフ)	245万
Nagare	Hexa(構造)	3mm		182万
FFR	T	5mm	248万	48万
e-flow	Hexa(構造)	5mm		176万

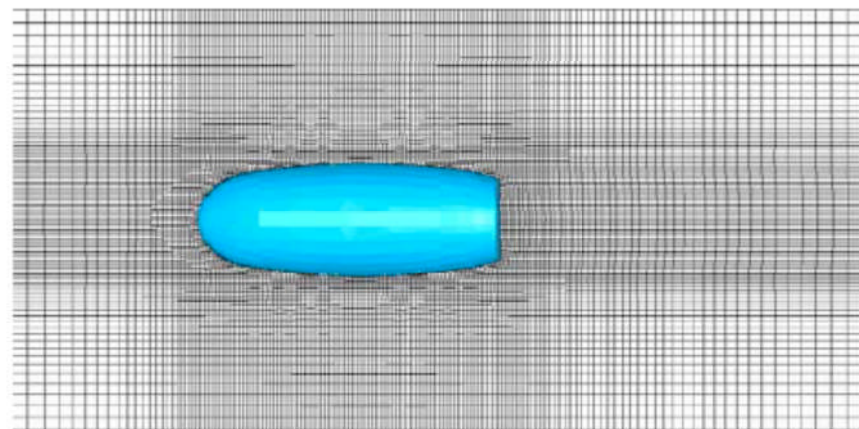
T: テトラ, P: プリズム, Py: ピラミッド

計算格子(続き)

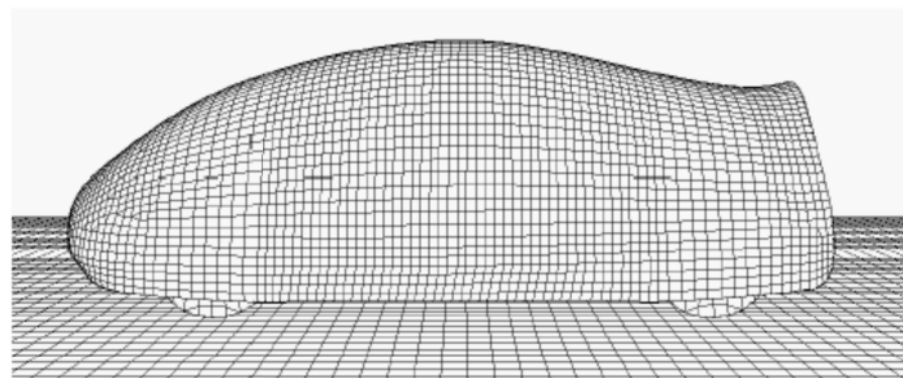
■ Hexa系のメッシュの様子



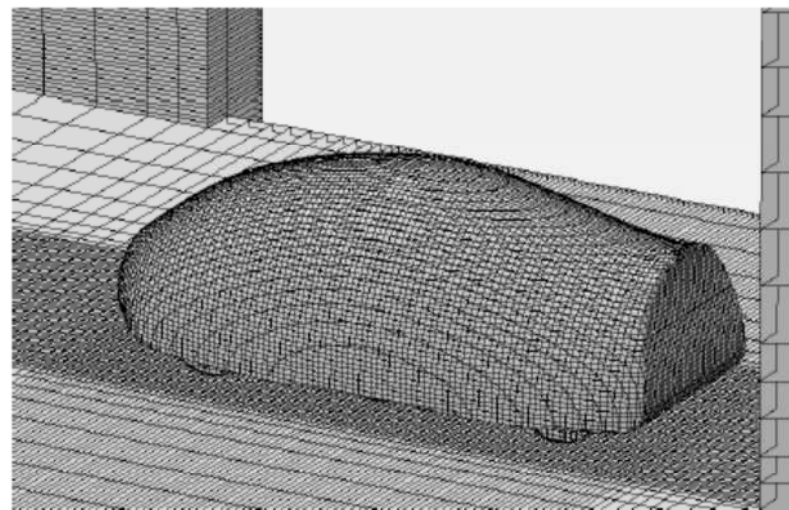
CFD-ACE+



Nagare



Esperanza (サーフェスのみ)



e-flow

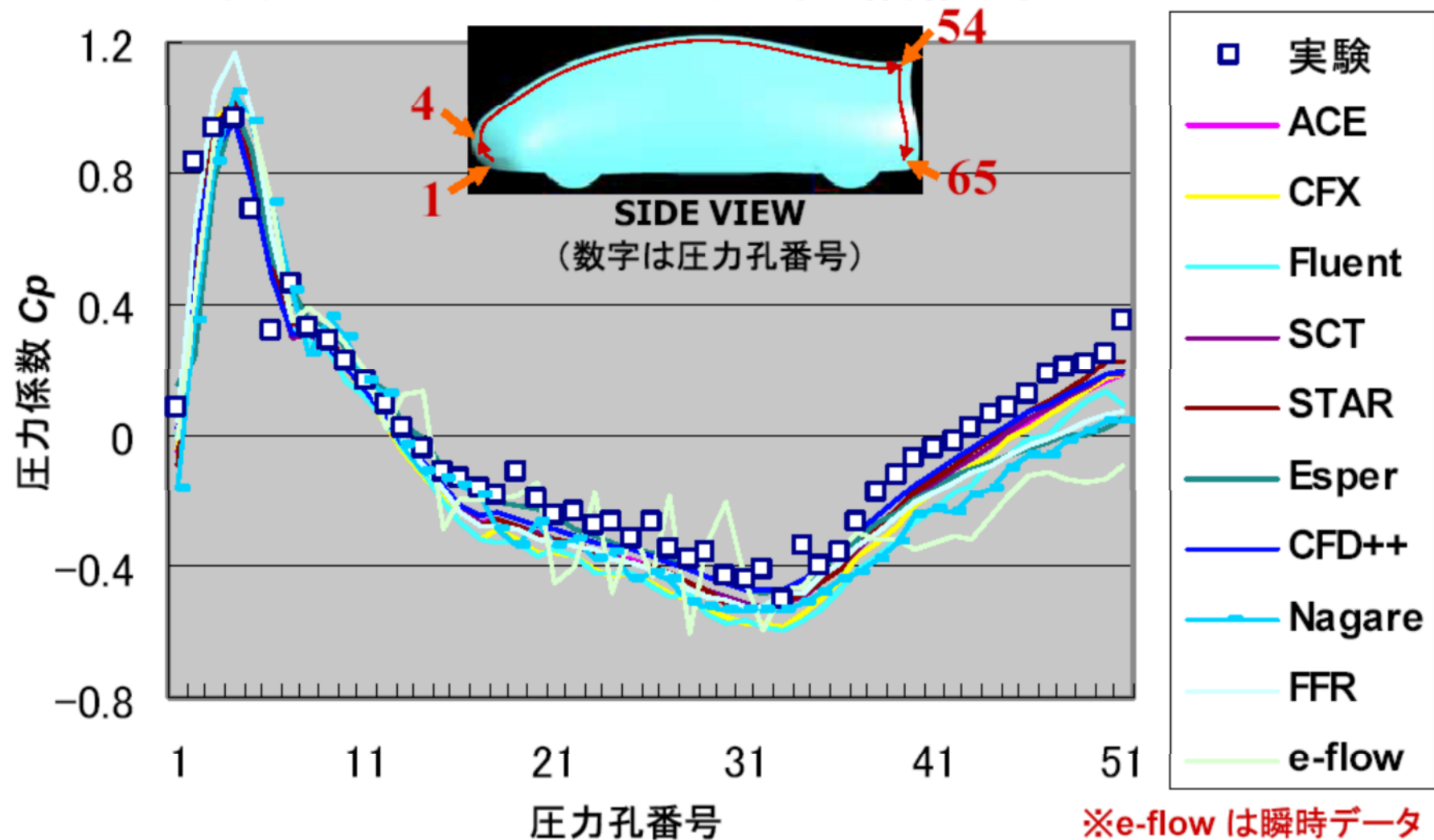
乱流モデル, 離散化スキーム

ソフト	乱流モデル	モデル定数	空間離散化
ACE	RNG k-ε	$C_\mu = 0.085,$ $C_{\epsilon 2} = 1.68,$ $\sigma_k = \sigma_\epsilon = 0.7179$	流れ: 2次精度, 乱流: 1次風上
Esper	無し	—	Vortex Method (数値粘性無し)
CFX	SST	$A1=0.31,$ Compressible Production=3.0, Production Clip Factor=10.0, $\beta_{star}=0.09,$ 等	1次-2次精度 カップリング
Fluent	Realizable k-ε	$C1_\epsilon = 1.42, C2_\epsilon = 1.68$	2次風上
SCT	標準k-ε	$\sigma_k = 1, \sigma_\epsilon = 1.3,$ $C1=1.44, C2=1.92,$ $C3=0, Ct=0.09,$ $\sigma_t=0.9$	2次風上 (TVD化)
STAR	Realizable k-ε	$C_\mu=0.09, C_{\epsilon 2}=1.9,$ $\sigma_\epsilon=1.2, \sigma_k=1.0$	2次風上
CFD++	Cubic k-ε	$C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2} = 1.92,$ $\sigma_k = 1.0, \sigma_{\epsilon 1} = 1.3,$ $A_\mu = 0.01, A_E = 0.15$	Total Variation Diminishing (TVD)
Nagare	無し	—	多方向差分法 対流項: 3次風上, その他: 2次中心
FFR	標準k-ε	$C_\mu=0.09, \sigma_k=1.0, \sigma_\epsilon = 1.3,$ $C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2}=1.92$	対流項: 3次風上, その他: 中心差分
e-flow	DNS	—	ハイブリッド中心差分

- Esperanza, Nagare, e-flow は乱流モデル不要。
また、いずれも非定常計算。
- Esperanza と e-flow は数値粘性も不要

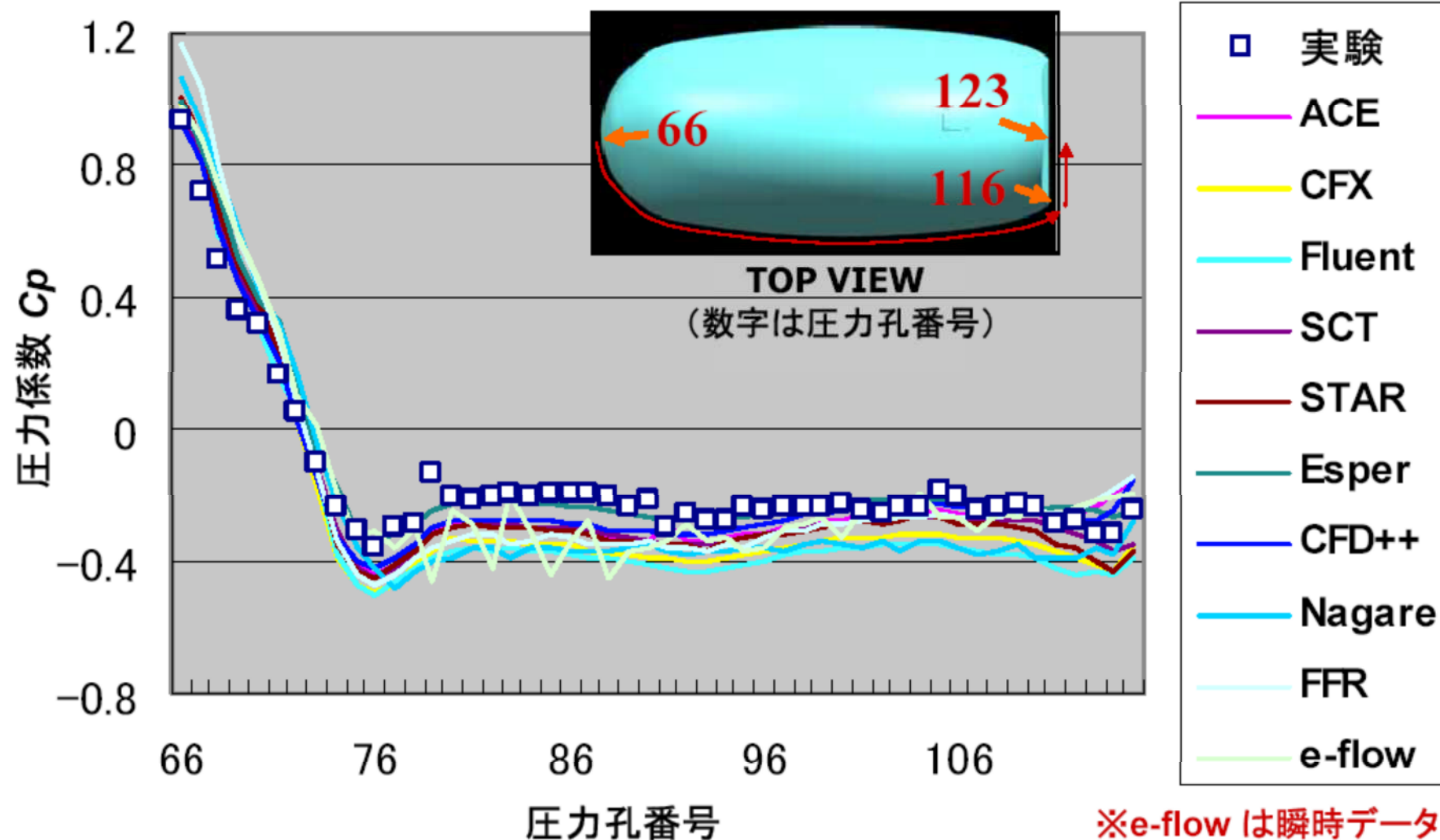
表面圧力(Cp)分布

- 上面(中央断面)上の圧力分布(偏揺角無し)



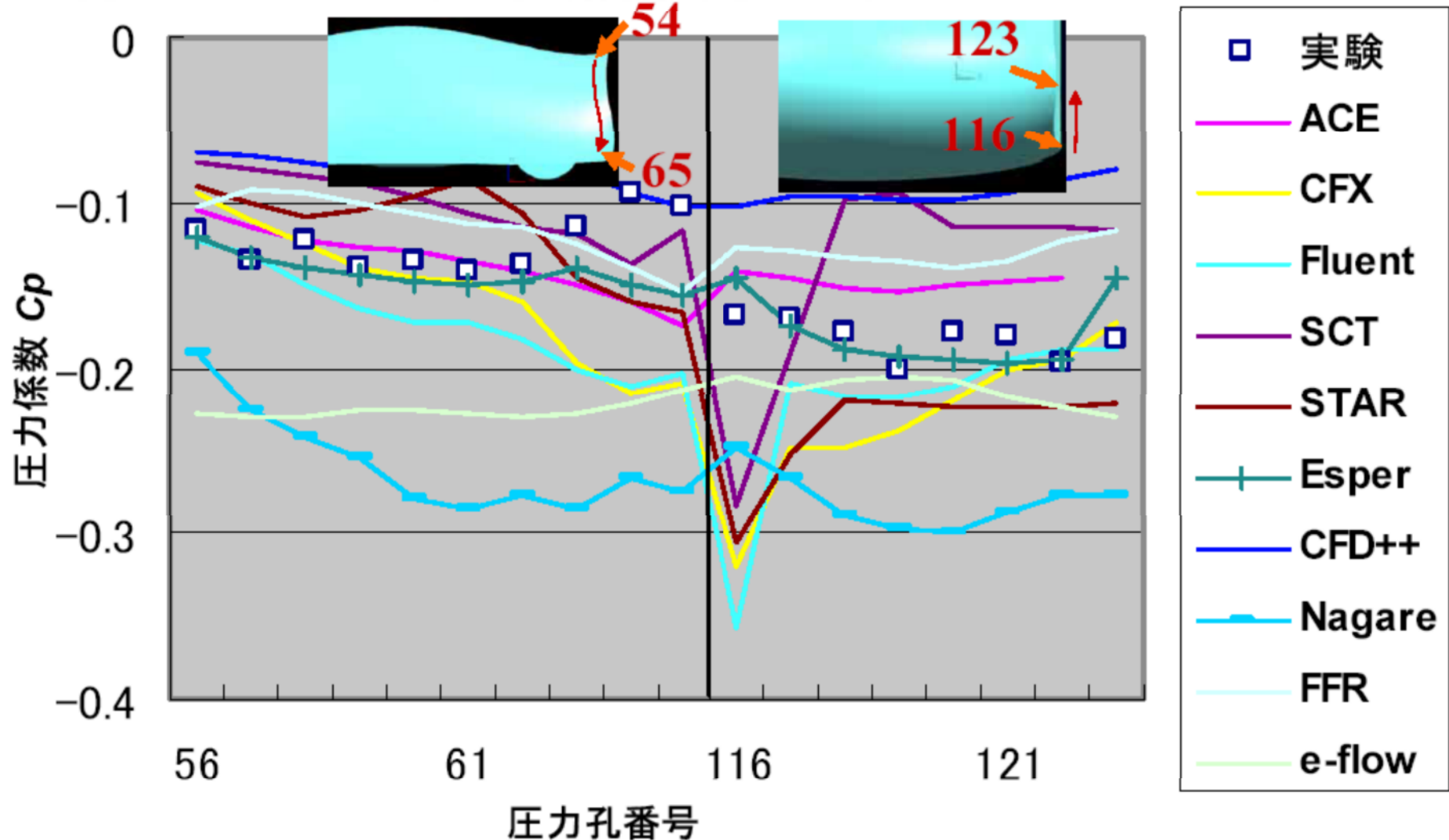
表面圧力(Cp)分布(続き)

■ 側面上の圧力分布(偏揺角無し)



表面圧力(Cp)分布(続き)

■ 背面上の圧力分布(偏揺角無し)



まとめ

- ブラインドベンチマークという試みにも関わらず、多くのソフトウェアで比較的良好な結果が得られた。
- メッシュについては、標準メッシュも用意したが、ほとんどのソフトで独自のメッシュが用いられた。
- ボディ上面や側面に関しては、圧力分布や表面流線など、流れ場をよく再現できることがわかった。
- 背面の圧力分布に関しては、特にサイドエッジ、あるいは下端において実験との差が見られた。
- 空力係数、特に C_D 値と C_S 値は、比較的良好な精度で算出された。
- 偏揺角 0° と 20° の相対的な変化量についても、概ね良好な一致が見られ、実験と傾向が逆転するようなことはなかった。

計算時間

ソフト	要素数 (節点数)	マシン, CPUスペック	CPU 数	計算 時間	総計算時間 /100万要素
ACE	1930万	Opteron model252 / 2.6GHz	16	47.0	39
Esper (非定常)	13,548	Xeon / 2.8GHz	6	72.0	31887
CFX	440万	Itanium2 / 1.3GHz	4	13.0	12
Fluent	183万	Xeon / 3.06GHz	1	36.0	20
SCT	326万	Pentium 4 / 3.2GHz	1	35.0	11
STAR	481万	Cray XD1/ 2.193GHz	12	5.8	14
CFD++	870万	Xeon / 2.4GHz	16	7.0	13
Nagare (非定常)	182万	Pentium 4 / 3.8GHz	1	142.0	78
FFR	248万	Opteron model850 / 2.4GHz	1	155.0	63
e-flow	176万	Pentium 4 / 3.2GHz	1	12.0	7

- 定常計算に関しては、5百万前後のメッシュでも数日で計算可能。
(4CPU程度の並列計算を行えば1日以内)
- Esperanza と Nagare は非定常計算だが、これも並列化により2, 3日での計算が可能になってきた。

第29回数値流体力学シンポジウム CFD2015
基準整備促進事業 津波荷重シミュレーション

－水理実験との整合性検証－

2015年12月16日

- 阪田升(株式会社 環境シミュレーション)
- 奥田泰雄(国土交通省 国土技術政策総合研究所)
- 壁谷澤寿一(国土交通省 国土技術政策総合研究所)
- 喜々津仁密(国立研究開発法人 建築研究所)
- 長井大祐(株式会社 環境シミュレーション)
- 政岡沙央理(株式会社 環境シミュレーション)

はじめに

.....

本検討は平成26年度建築基準整備促進事業
「S3.津波避難ビル等の構造基準の合理化に資する検討」において実施された。

- ・一般社団法人 建築性能基準推進協会
 - ・東京大学生産技術研究所(中楚良昭教授)
 - ・鹿島建設(株)技術研究所
 - ・(株)環境シミュレーション
 - ・(独)建築研究所 の共同研究
- 委員に有川太郎氏(港空研:現中央大)
奥田康夫氏(国総研)ら

目的

(イ) 建築物に作用する津波荷重に対する遮蔽物の影響に関する検討

(ロ) 開口を有する建築物に作用する津波波力・波圧の低減に関する検討

(ハ) 津波の流速を用いた建築物に作用する荷重の算定手法に関する検討

を行い、津波避難ビル等の構造基準の合理化に資する基準案を提案する。

津波数値シミュレーションと水理実験

.....

○正直なところ、どのくらい合うのか？

実験等とデータを突き合わせて本格的に
検証した例は少ない。

○水理実験と合わなければ、敢えて数値シミュレーションを予測に使う意味がない。

合うならば数値シミュレーションの適用範囲が大幅に広がる。

比較方法

○通過波検定

異なる部位の水位を水理実験データと比較。

○連立注による波力比較。

実験で求められた波力(荷重)を数値シミュレーションと比較。

○通常グリッドと大規模グリッドの結果比較

どのくらいの規模のグリッドを使えば、大規模解析(精細グリッド)の結果を担保できるか？

解析手法と解析条件

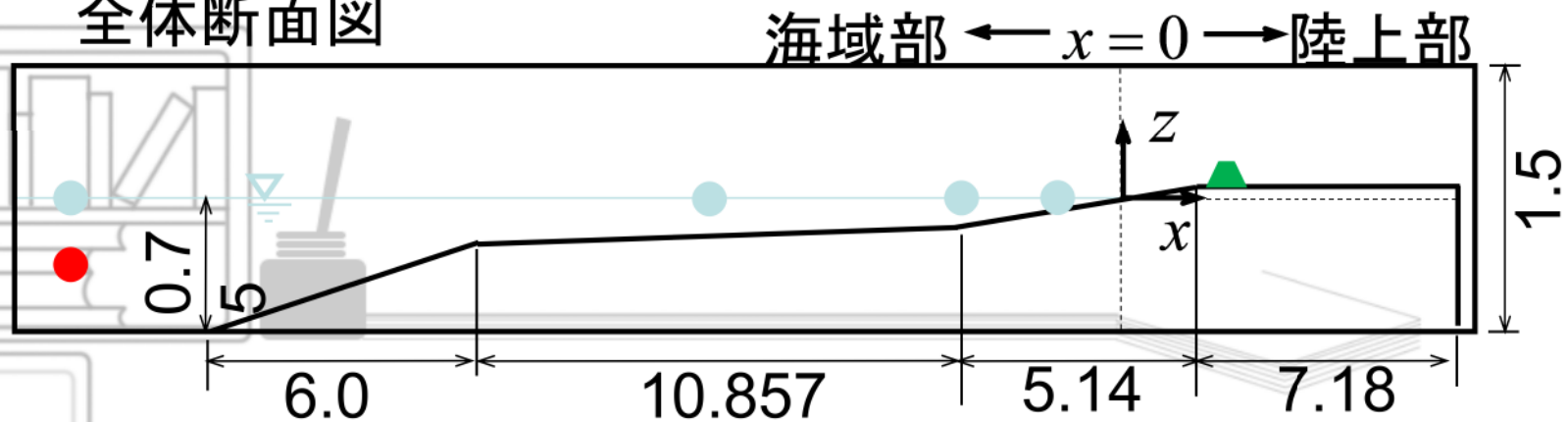
VOF法による気液二相流れの解析。津波の入射波は、Fr数と浸水深より波の速度を決め、底面から水面まで一定速度を水塊に与える。

- ・ 基礎方程式: NS方程式、連続の式、VOF移流方程式
- ・ 空間の離散化: 構造格子
(不等間隔格子: 最小格子間隔0.2m)
- ・ 時間の離散化: SMAC法
- ・ 移流項: ハイブリッド中心差分 乱流モデル: なし(DNS)
- ・ 自由表面トラッキング: VOF法+密度関数法

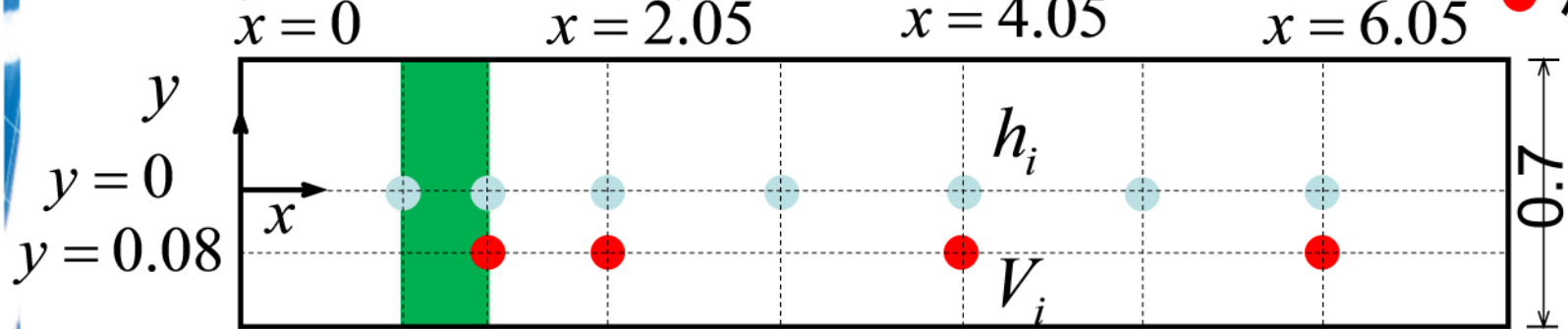
- ・ 初期条件: 浸水深・Fr数を仮定し流速を設定
- ・ 境界条件: 流入側—規定流速, 流出側—連続流出,
- ・ 底面・構造物—Non Slip, 側面・天空面—Free Slip
- ・ 使用ソフト: e-flowDX

水理実験装置の概要

全体断面図



陸上部平面図(通過波実験)

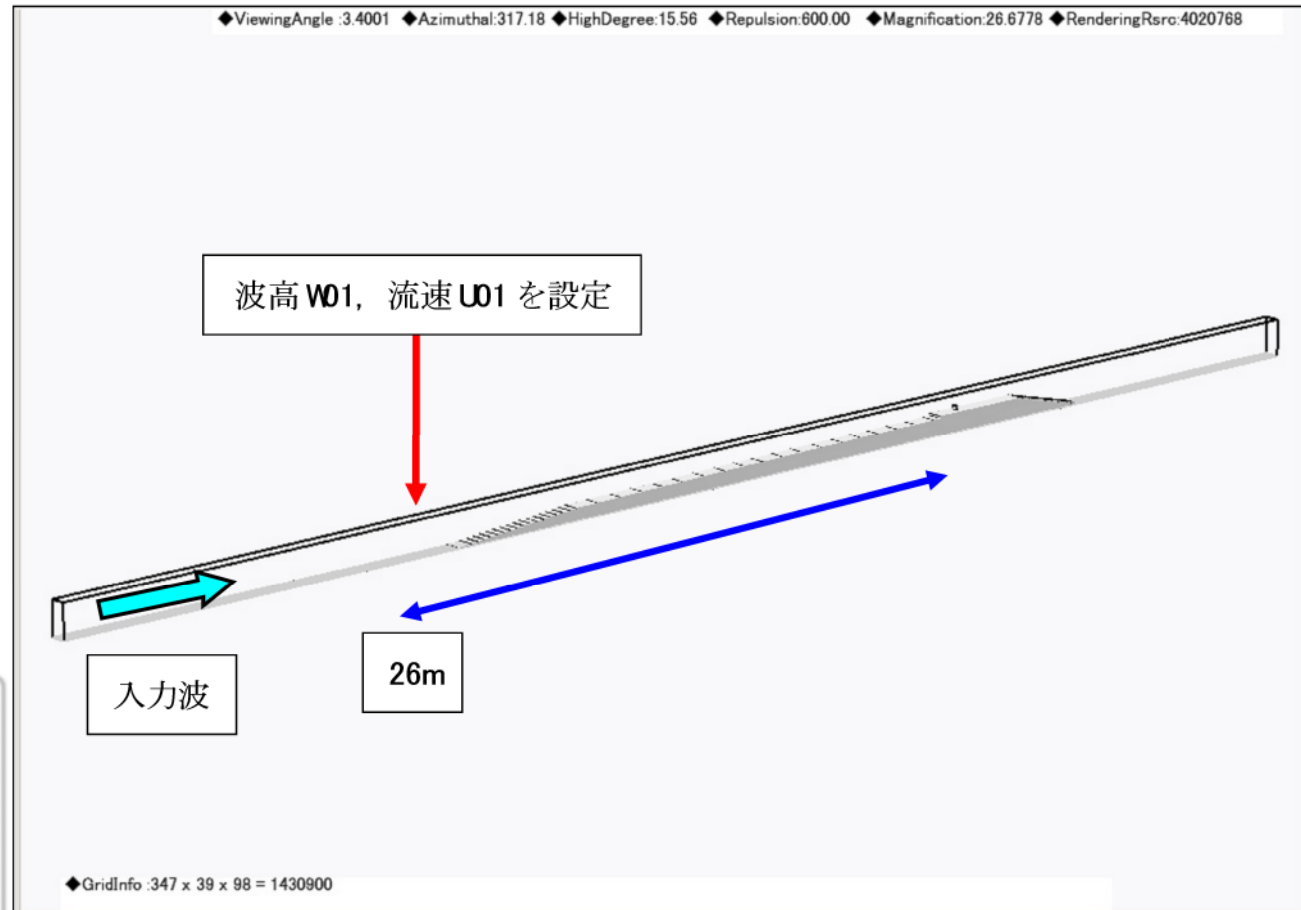


● 波高計
● 流速計

鹿島建設技術研究所殿保有 津波実験水槽

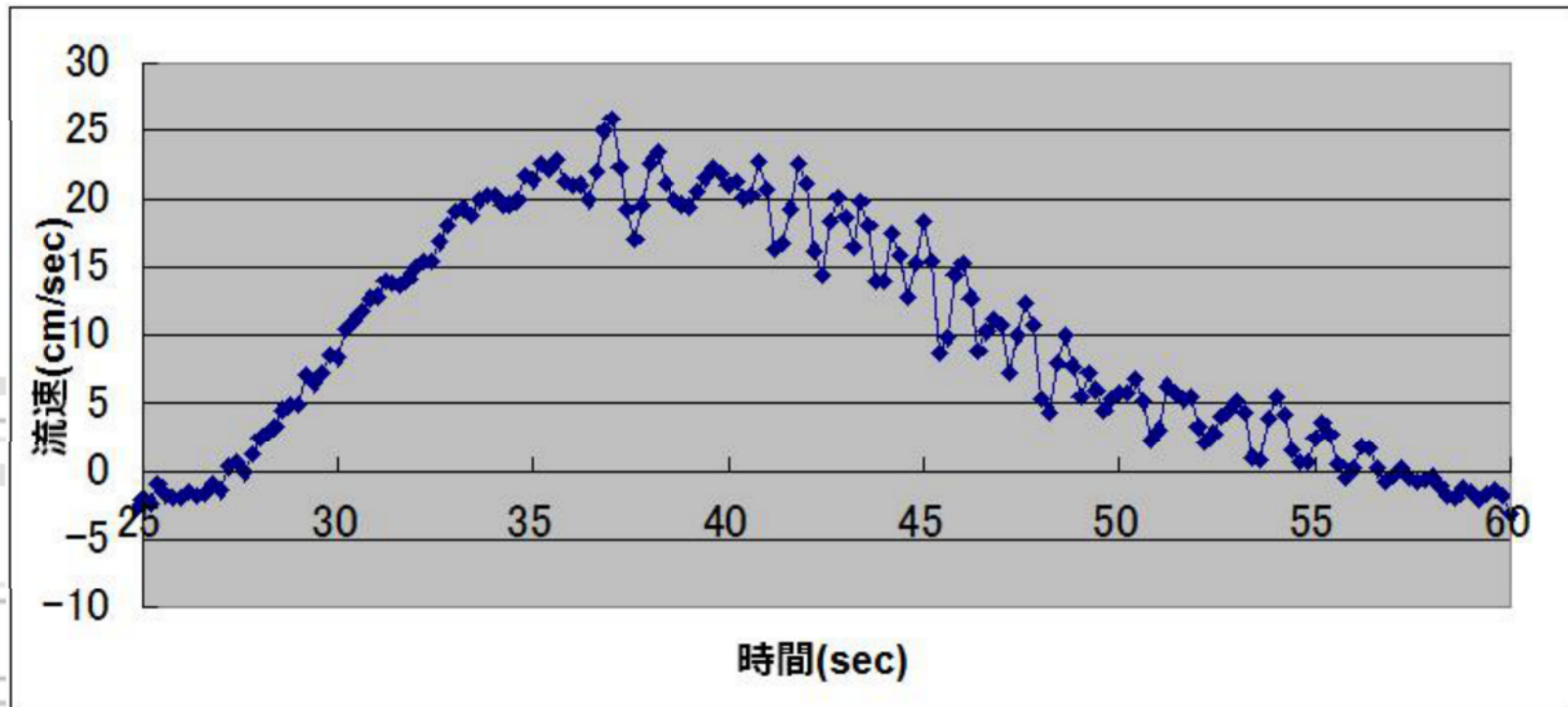
単位m

通過波検定シミュレーション 1



解析モデル

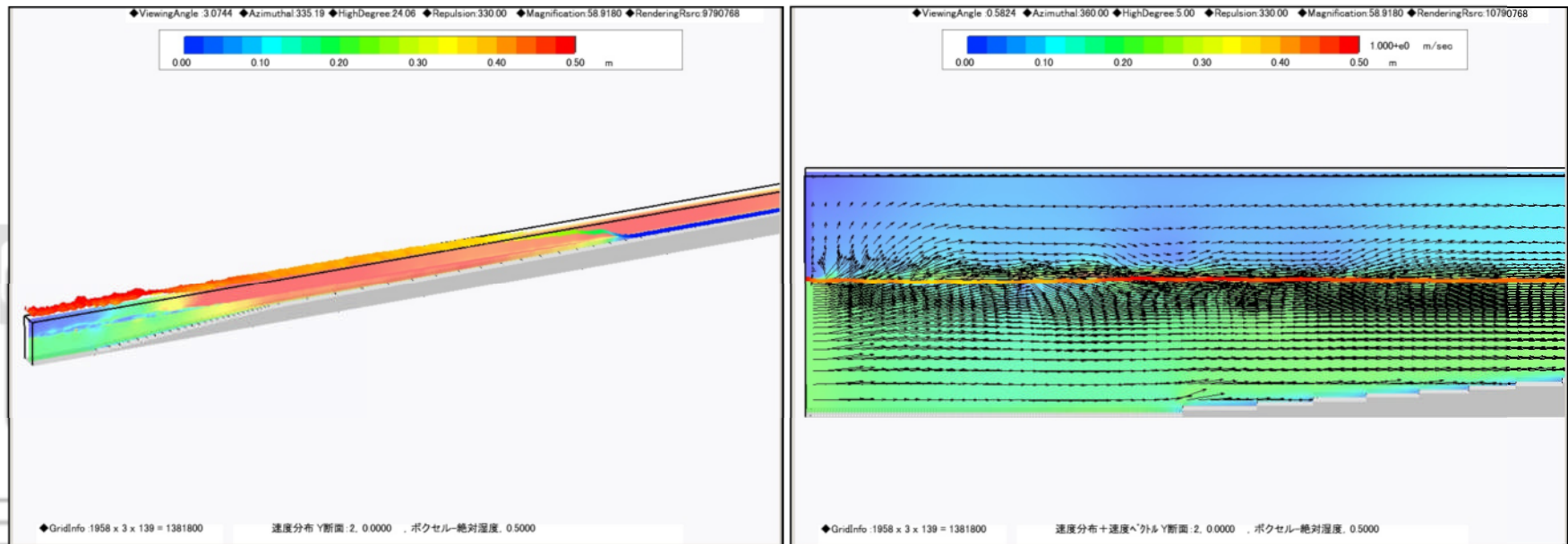
通過波検定シミュレーション 2



検定に用いた通過波

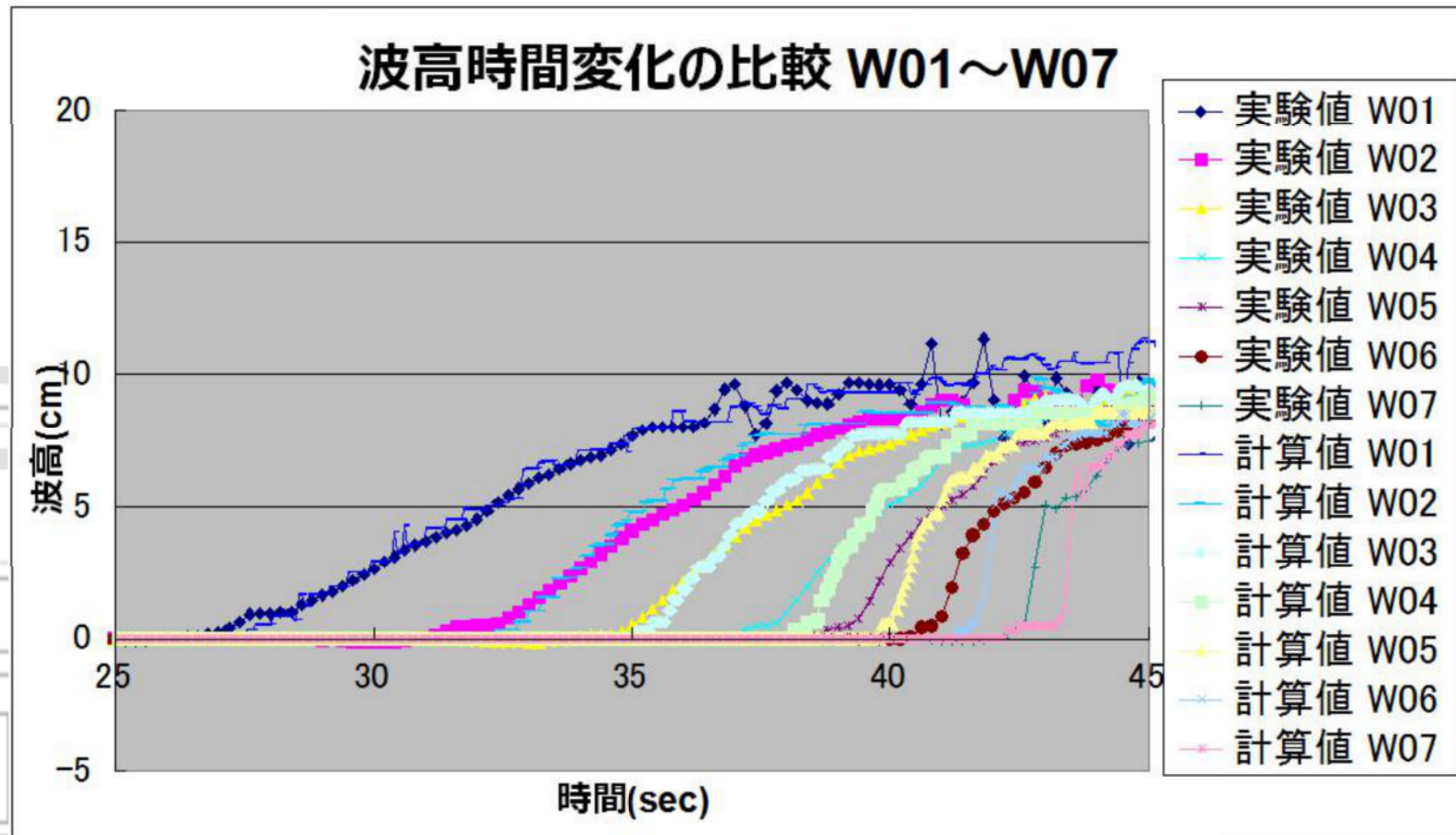
実験①WV-75mm-30s の波高W01, 流速U01の設定場所に境界条件を設け、入力波実験データより、波高と流速を時間変化値として与える。

通過波検定シミュレーション 3



シミュレーション結果 速度分布と水面挙動 拡大
WV-75mm-30s

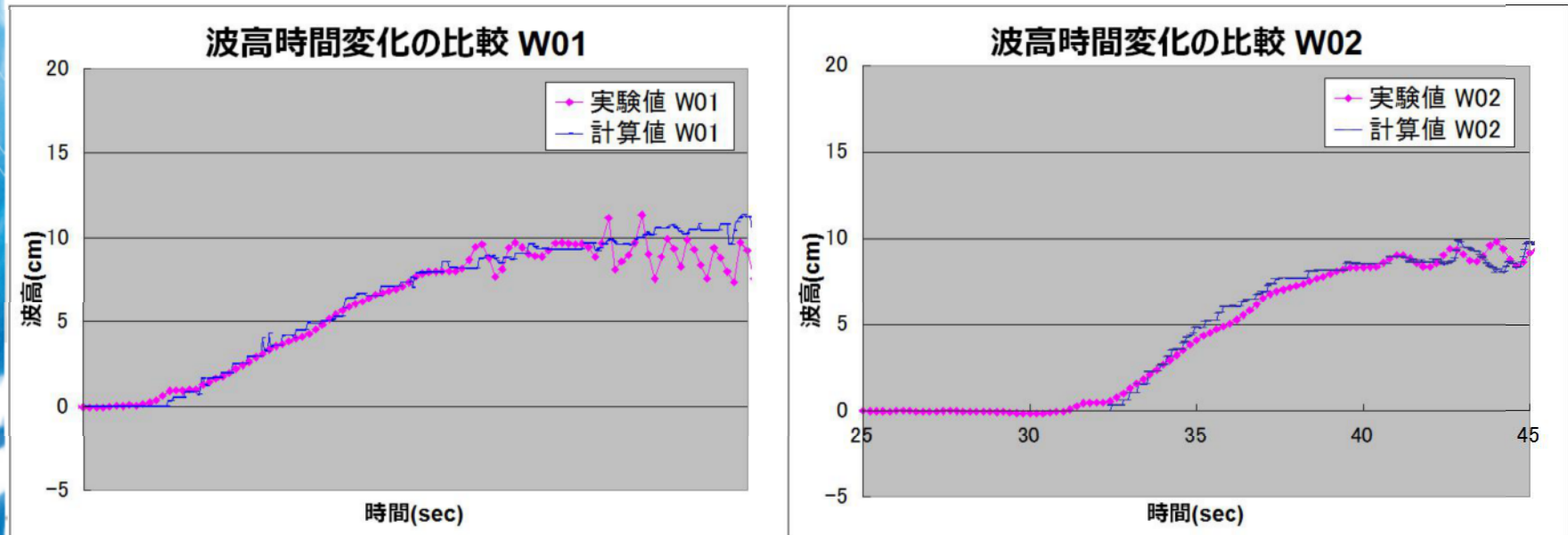
通過波検定シミュレーション 4



通過波検定シミュレーション結果

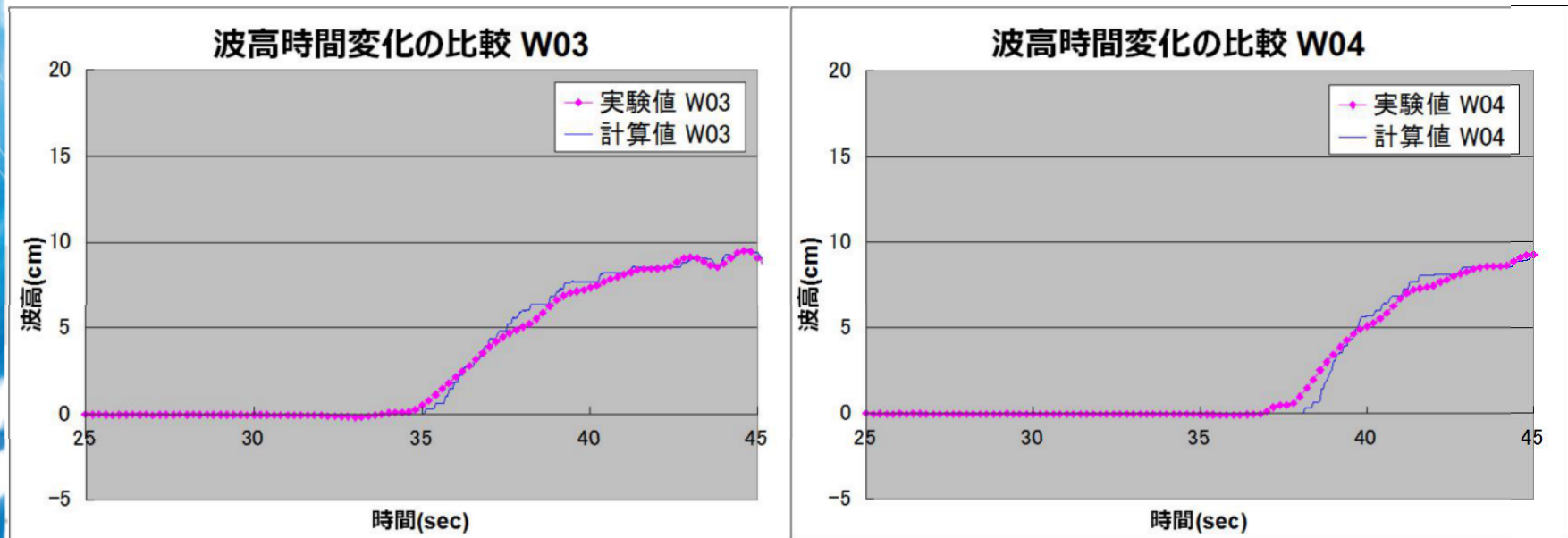
波形 WV-75mm-30s 位置W01~W07

通過波検定シミュレーション 5



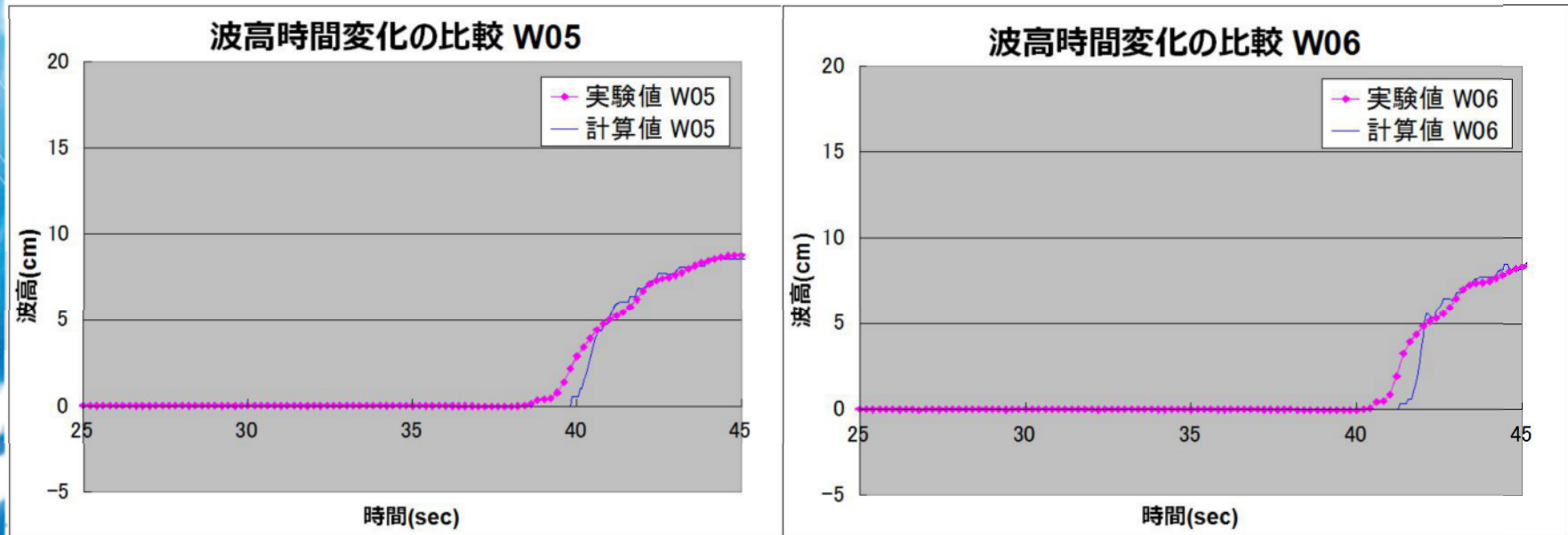
通過波検定シミュレーション結果
波形 WV-75mm-30s 位置W01, W02

通過波検定シミュレーション 6



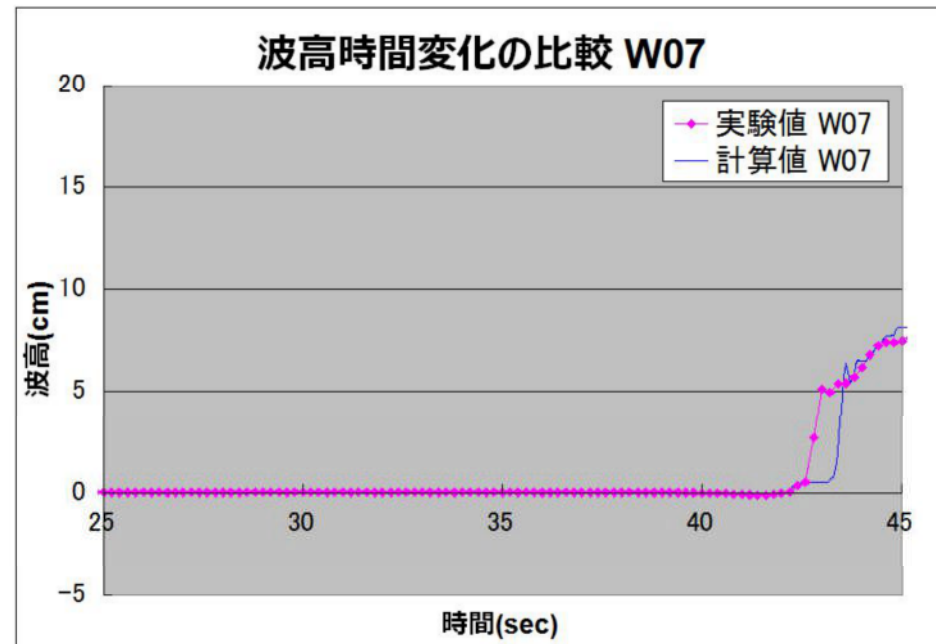
通過波検定シミュレーション結果
波形 WV-75mm-30s 位置W03, W04

通過波検定シミュレーション 7



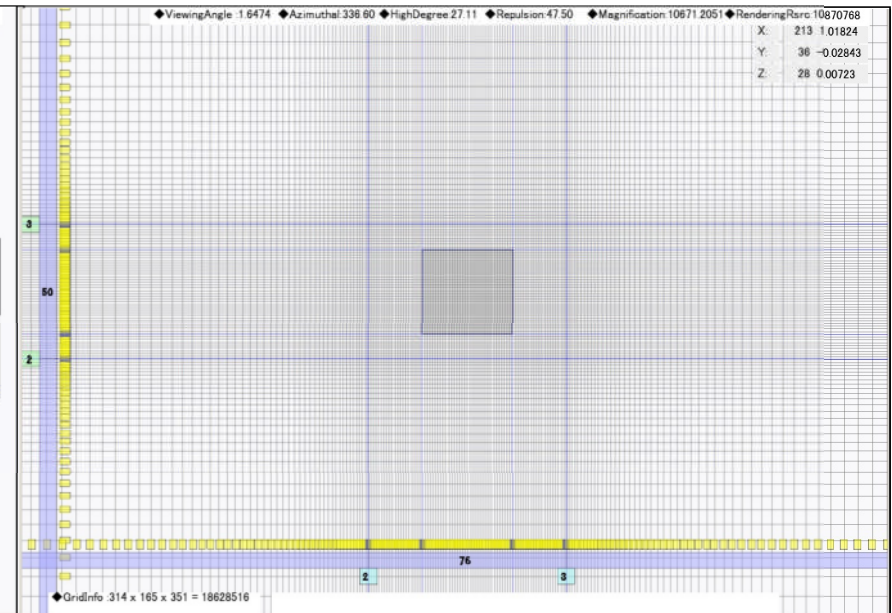
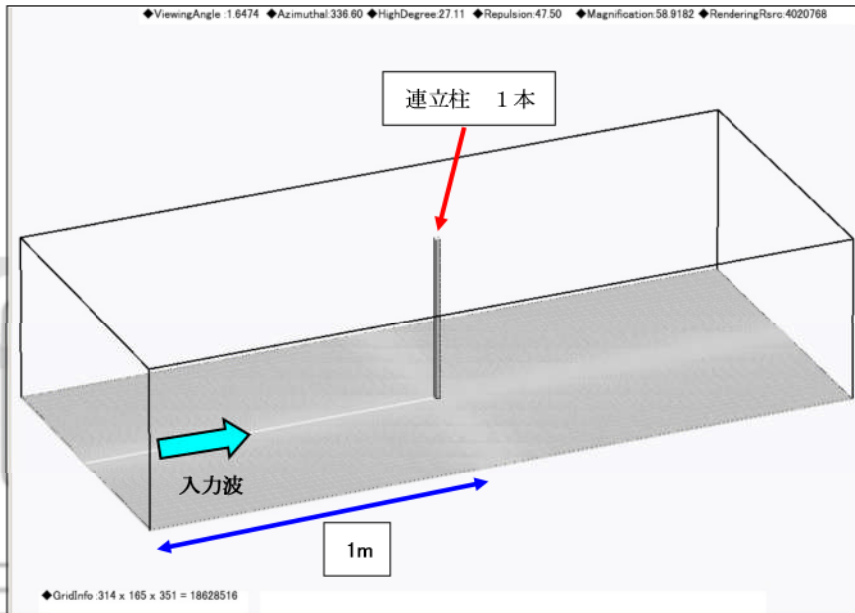
通過波検定シミュレーション結果
波形 WV-75mm-30s 位置W05, W06

通過波検定シミュレーション 8



通過波検定シミュレーション結果
波形 WV-75mm-30s 位置W07

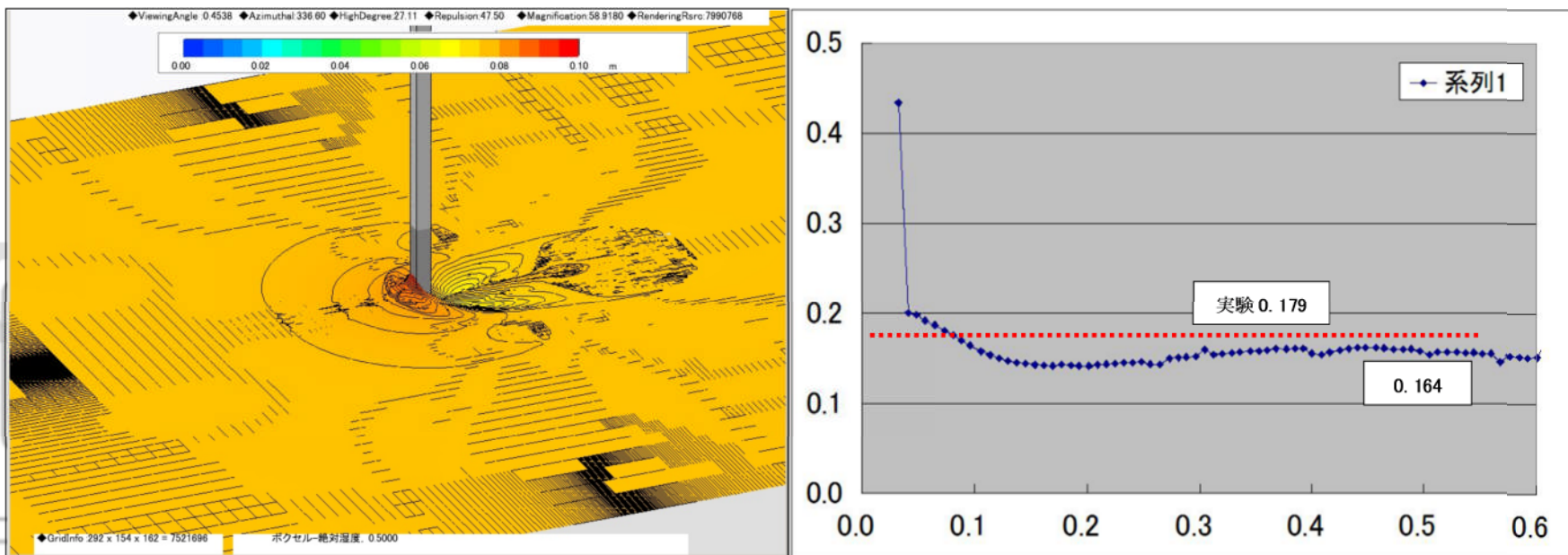
連立柱波カシミュレーション 1-2



解析モデル1 支柱1本
RECT-1-1000_0

格子Z断面 拡大

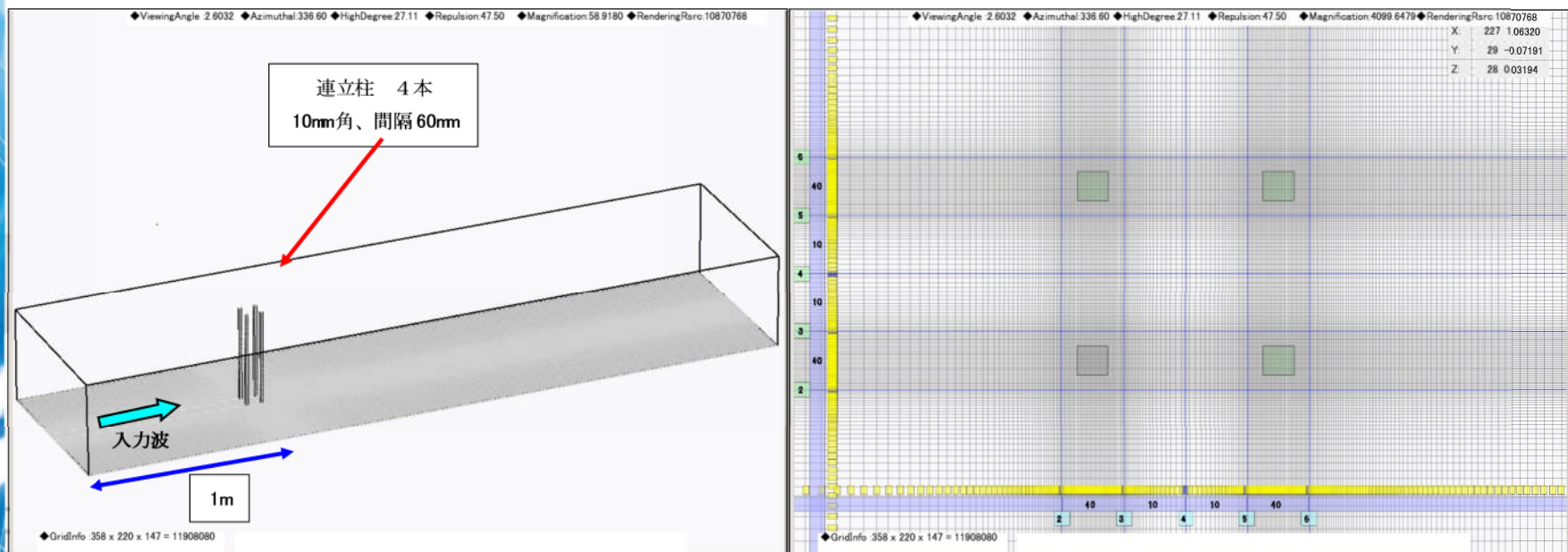
連立柱波力シミュレーション 1-2



解析結果 支柱1本
RECT-1-1000_0 #06
VOF界面拡大

RECT-1-1000_0 #06
波力の比較

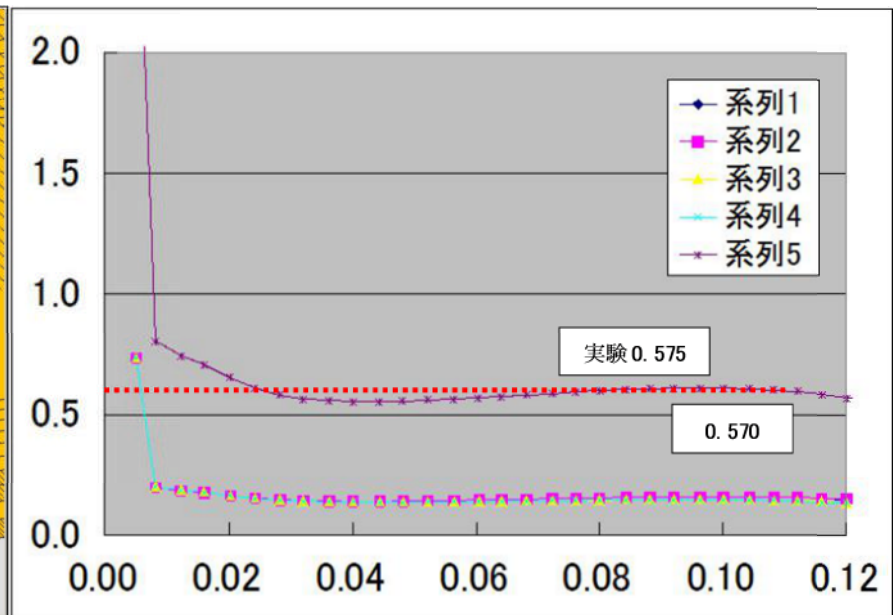
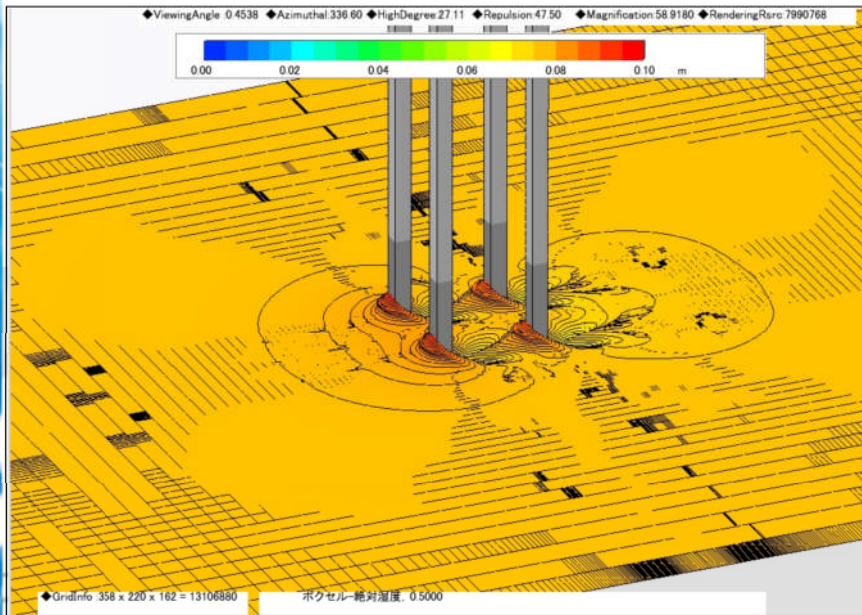
連立柱波カシミュレーション 2-1



解析モデル2 支柱4本
RECT-4-1000_0

格子Z断面 拡大

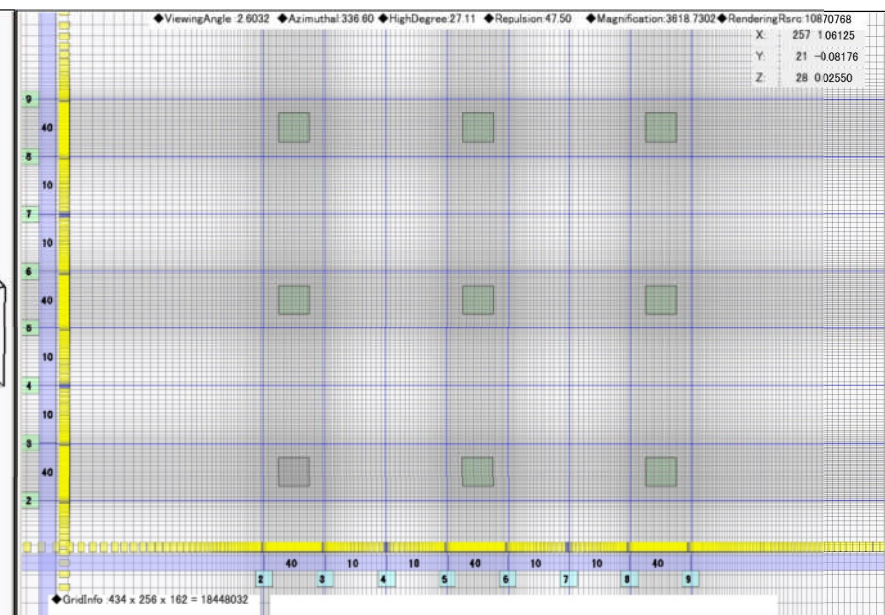
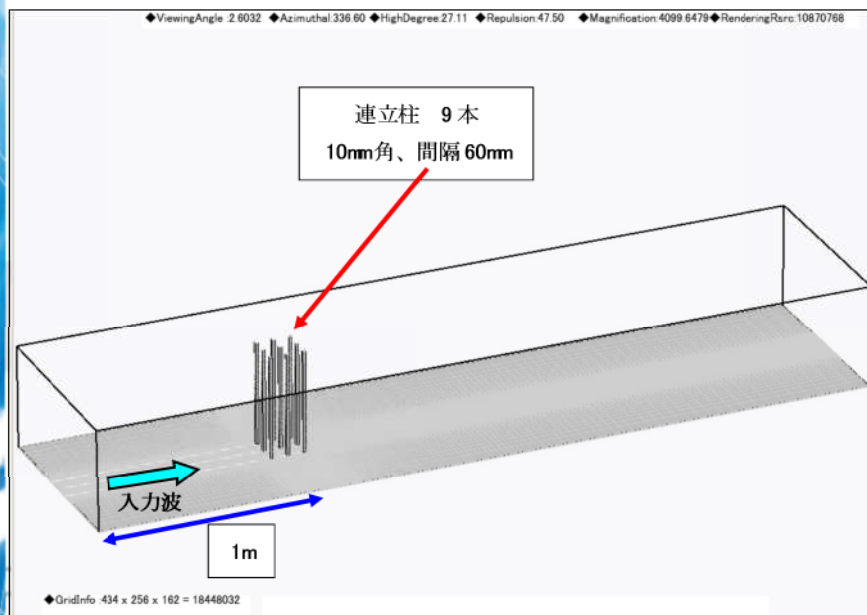
連立柱波力シミュレーション 2-2



解析結果 支柱4本
RECT-4-1000_0 #06
VOF界面拡大

RECT-4-1000_0 #06
波力の比較

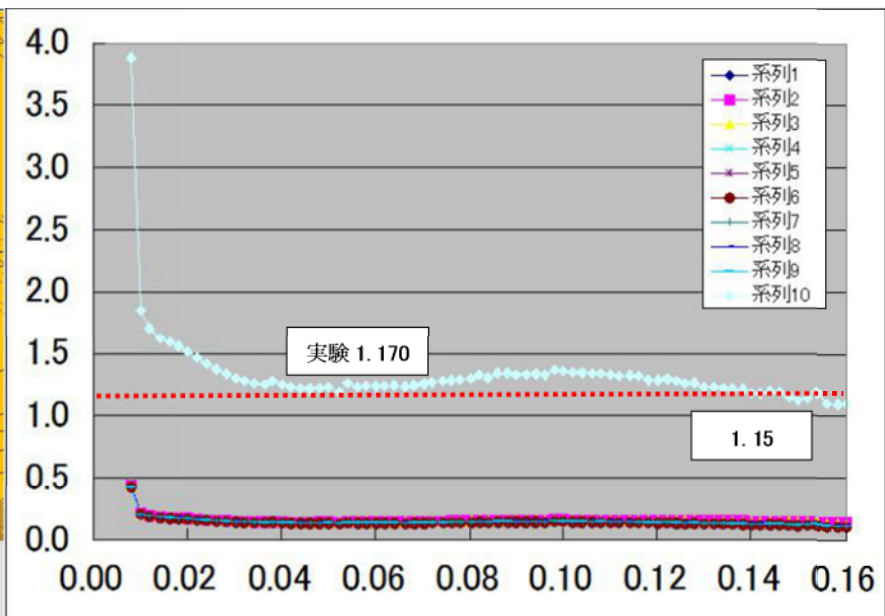
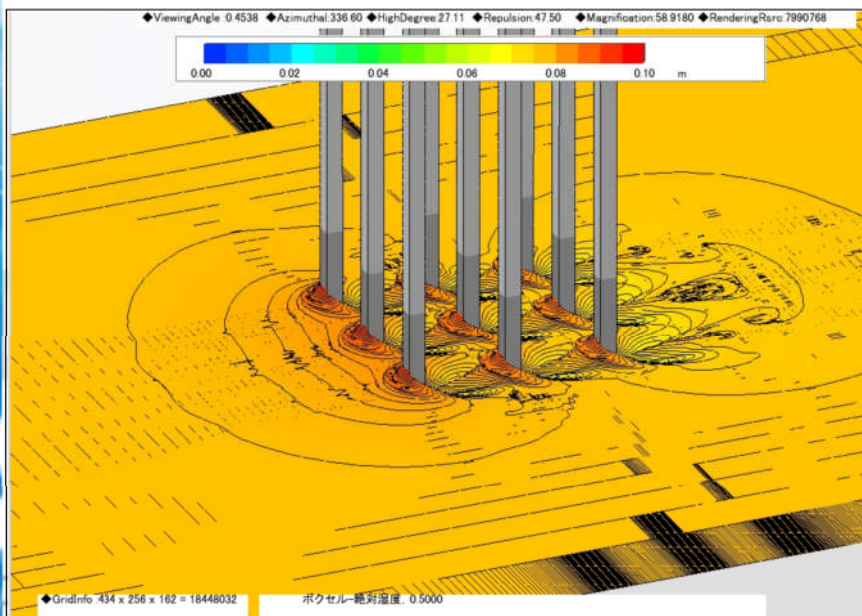
連立柱波カシミュレーション 3-1



解析モデル3 支柱9本
RECT-9-1000_0

格子Z断面 拡大

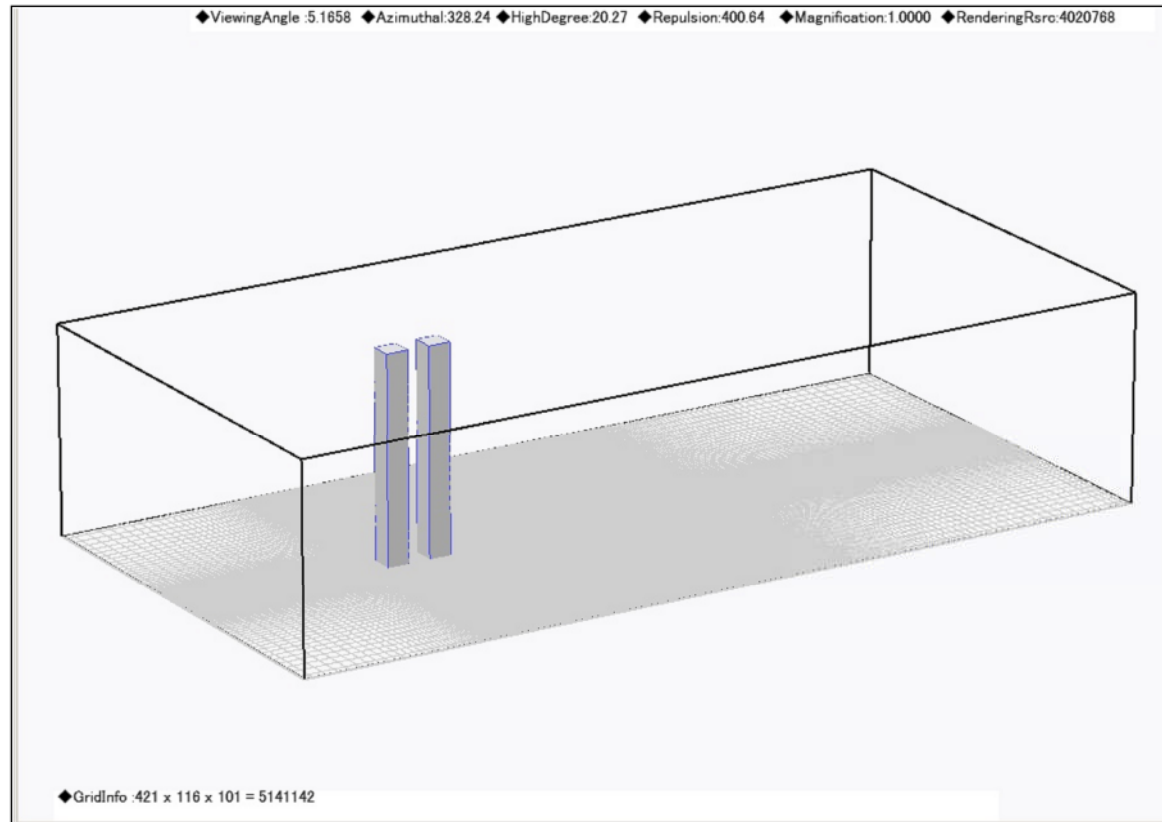
連立柱波力シミュレーション 3-2



解析結果 支柱9本
RECT-9-1000_0 #06
VOF界面拡大

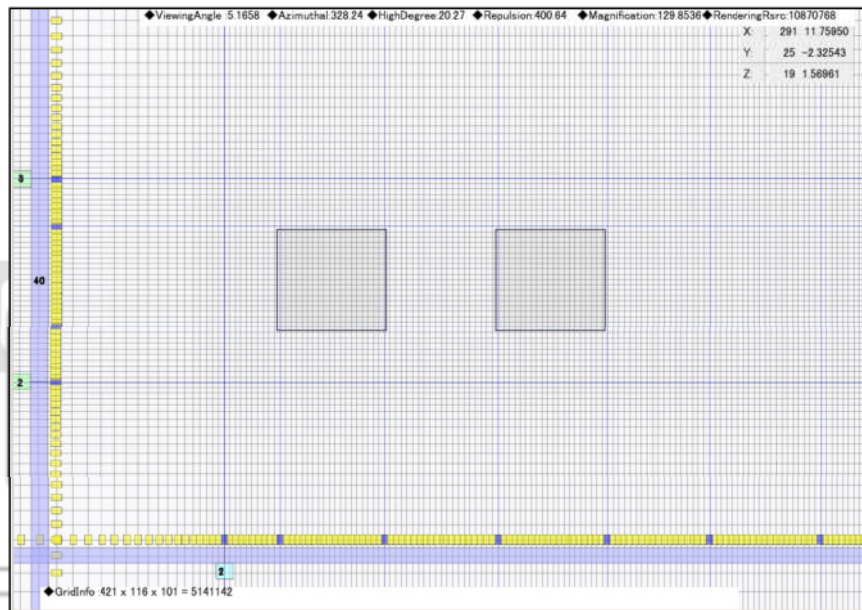
RECT-9-1000_0 #06
波力の比較

通常グリッドと大規模グリッドとの結果比較 1

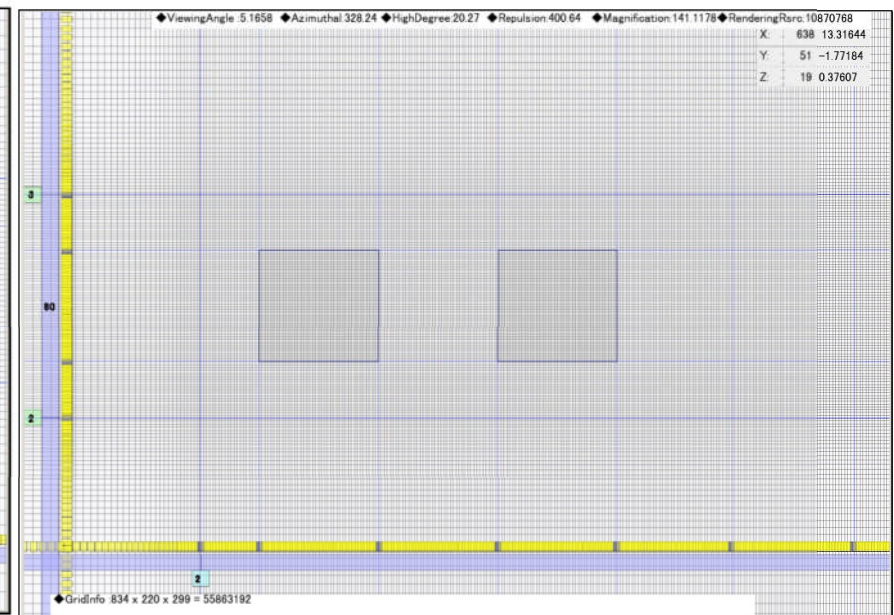


縦列間隔2.0m Fr07&1.5 解析モデル概観

通常グリッドと大規模グリッドとの結果比較 2



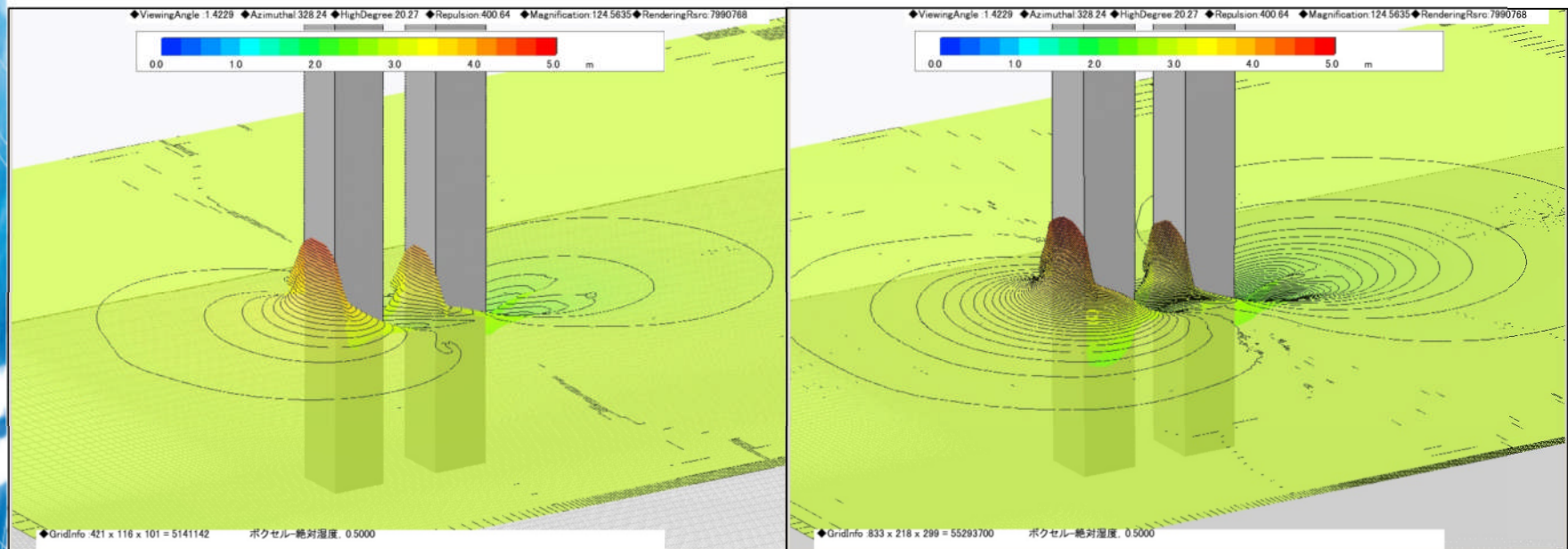
縦列間隔2.0m Fr0.7
解析格子 通常メッシュ
Z平面



縦列間隔2.0m Fr0.7 解
析格子 5000万メッシュ
Z平面

通常グリッドと大規模グリッドとの結果比較 3

柱近傍VOF界面拡大

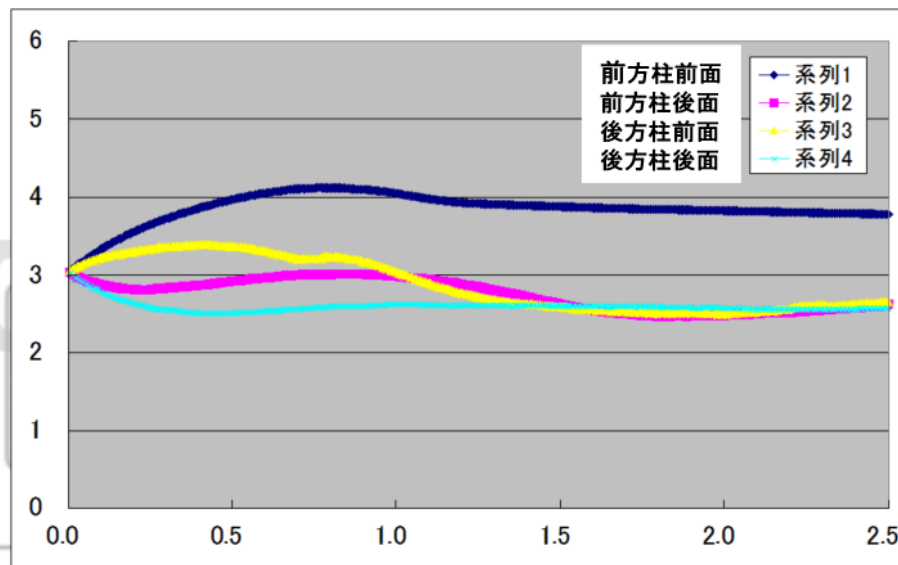


縦列間隔2,0m Fr0.7
シミュレーション結果
通常メッシュ

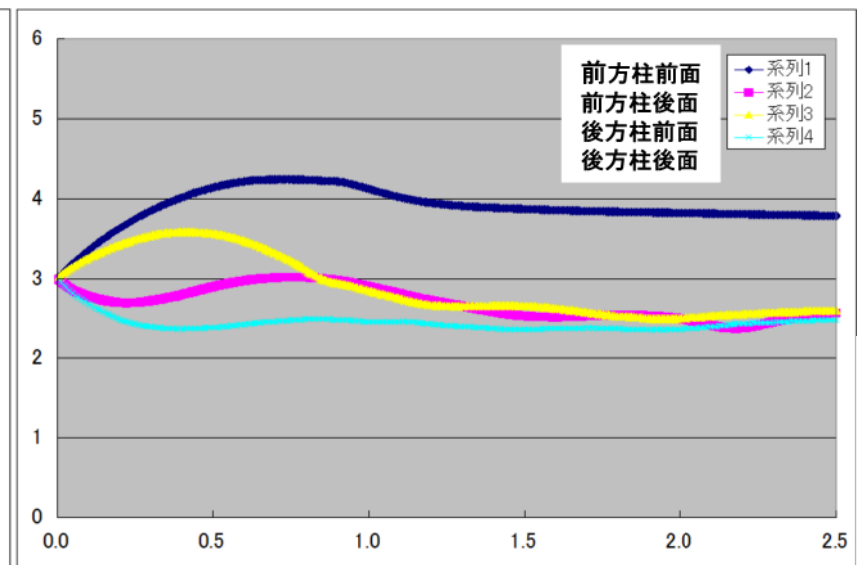
縦列間隔2,0m Fr0.7
シミュレーション結果
5000万メッシュ

通常グリッドと大規模グリッドとの結果比較 4

水位(波高)経時変化 Fr0.7



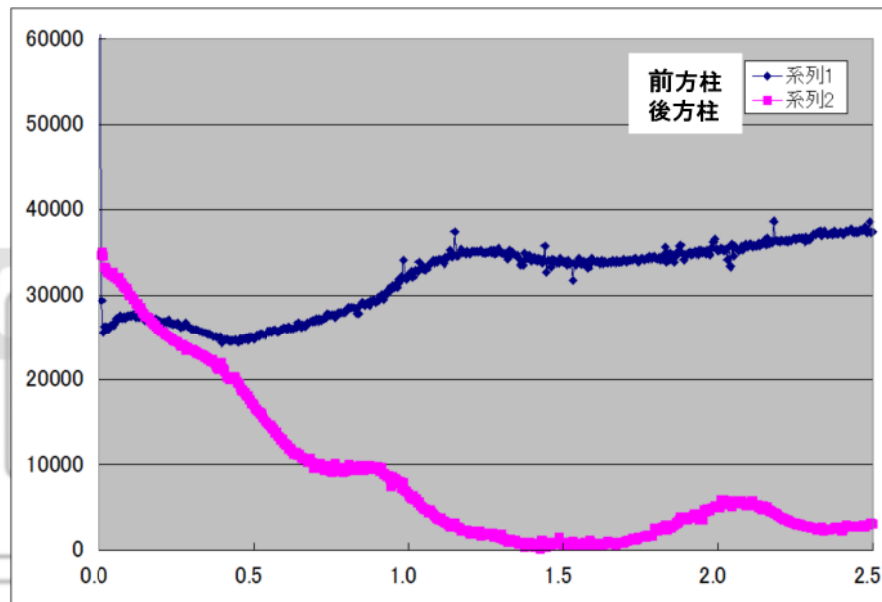
柱間隔2.0m Fr0.7
通常メッシュ



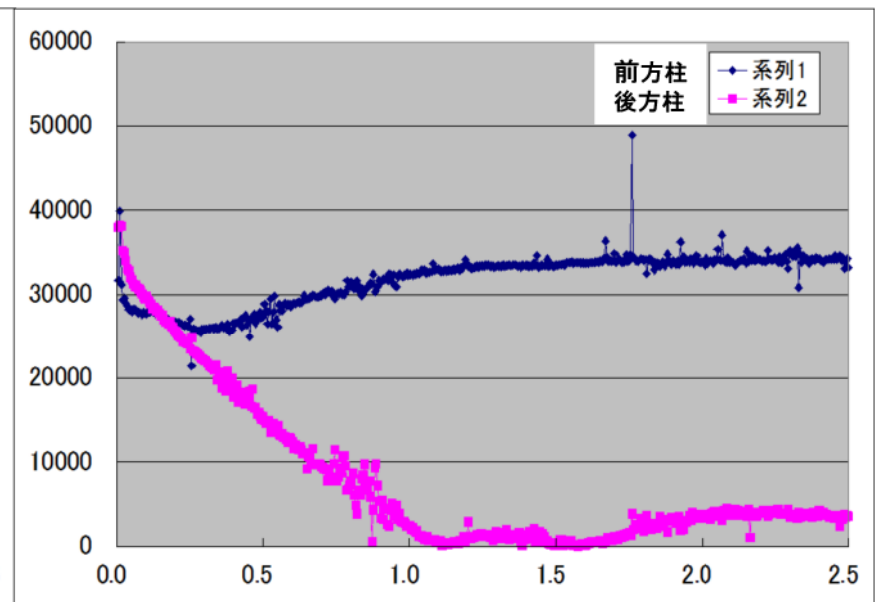
柱間隔2.0m Fr0.7
5000万メッシュ

通常グリッドと大規模グリッドとの結果比較 5

荷重(波力)経時変化 Fr0.7



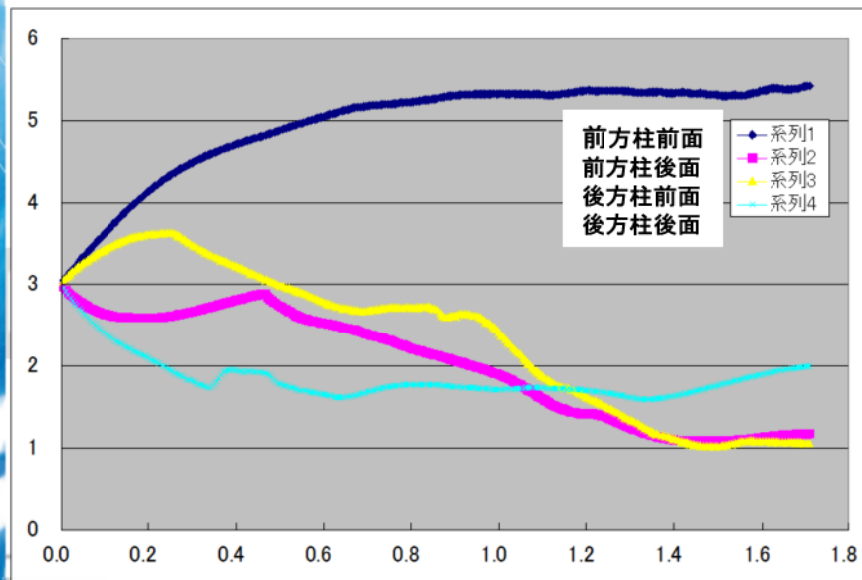
柱間隔2.0m Fr0.7
通常メッシュ



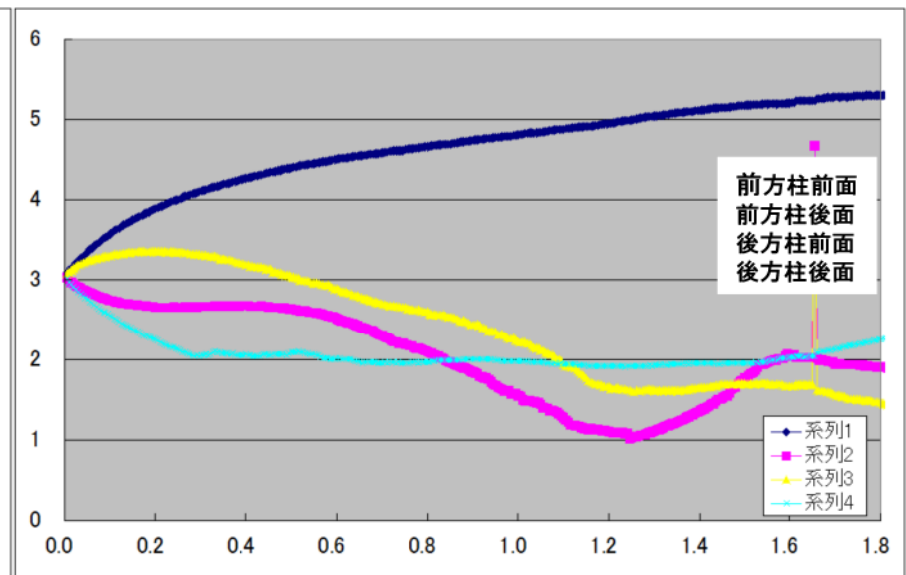
柱間隔2.0m Fr0.7
5000万メッシュ

通常グリッドと大規模グリッドとの結果比較 6

水位(波高)経時変化 Fr1.5



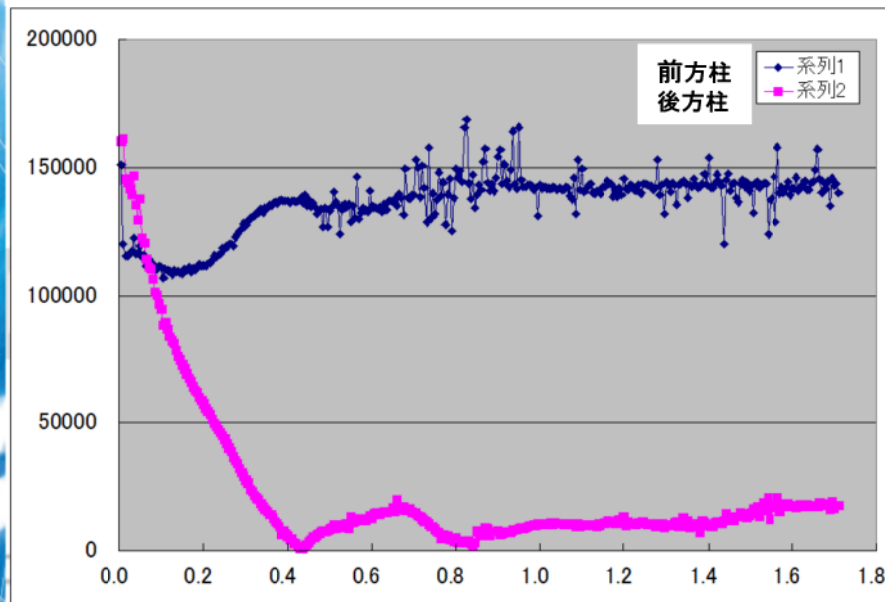
柱間隔2.0m Fr1.5
通常メッシュ



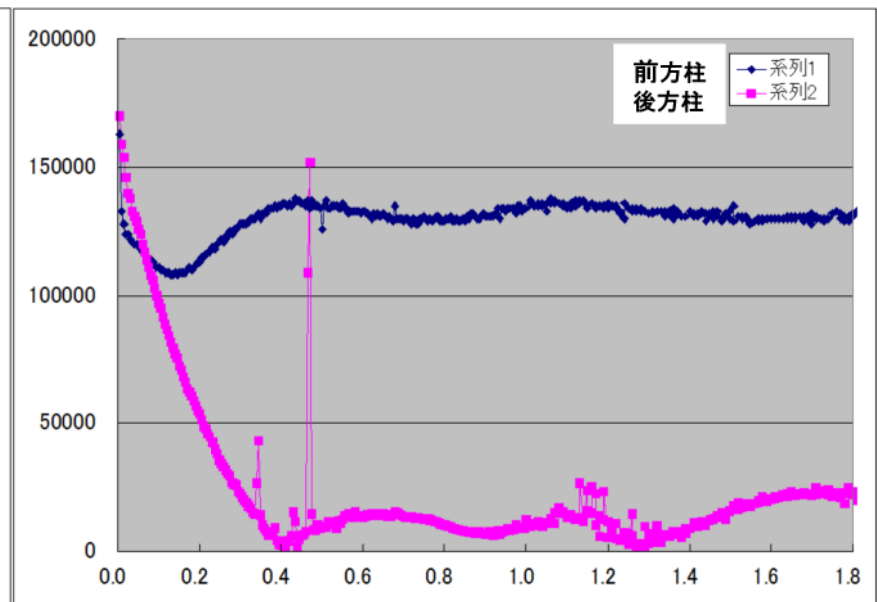
柱間隔2.0m Fr1.5
5000万メッシュ

通常グリッドと大規模グリッドとの結果比較 7

荷重(波力)経時変化 Fr1.5



柱間隔2.0m Fr1.5
通常メッシュ



柱間隔2.0m Fr1.5
5000万メッシュ

まとめ

水理実験との整合性を検証する津波数値シミュレーションを実施した。

1. 通過波検定シミュレーションにおいては、水理実験結果で得られた複数部位の水位の時間経過を精度良く再現できた。
2. 連立柱シミュレーションでは、水理実験で得られた荷重(波力)値を十分な精度で再現した。
3. 通常グリッド(500万)と大規模グリッド(5000万)のシミュレーション結果を比較し、結果の担保性を確認した