

ただで始める流体解析

interFoamによるダムブレイクの解析 (2次元, 3次元, 層流, RAS, LES)

2012.2.4

1/64

interFoamによるダムブレイクの解析 (2次元, 3次元, 層流, RAS, LES)

1. 計算概要
2. モデル
3. 計算設定
4. 計算結果
5. まとめ
6. 質疑・応答
7. その他

2012.2.4

2/64

1. 計算概要

2相流のチュートリアルにあるダムブレイクの事例を流用し、論文等で公開されている実験結果と比較します。

ダムブレイクの問題は色々な計算解法の検証問題として利用されているようで、ネット上で多くの情報が得られます。

今回の計算では、次の論文等に示された実験結果を利用させて頂きました。

①越流堰なしのダムブレイク実験

- ・Martin, J.C. and Moyce, W.J. (1952) "An Experimental Study of the Collapse of Liquid Columns on a Rigid Horizontal Plane," Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. 244, No. 882, pp. 312-324, March

粒子法による流れの数値解析 越塚誠一 ながれ21(2002) 230-239

②越流堰ありのダムブレイク実験

- ・<http://www.cimne.com/pfem/ejemplo4.html>
- ・Koshizuka, S., Tamako, H., and Oka, Y. (1995) "A Particle Method for Incompressible Viscous Flow with Fluid Fragmentation," Comput. Fluid Dynamics J., Vol. 4, pp. 29.

2012.2.4

3/64

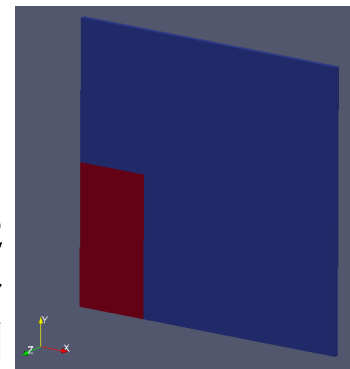
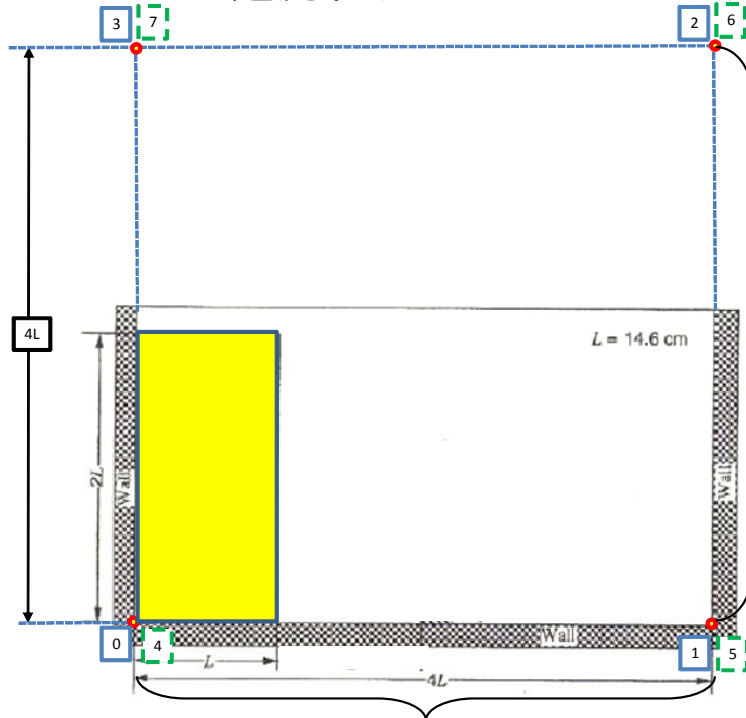
2. モデル

2D, 3D, 越流堰あり, なし

2012.2.4

4/64

2. モデル: 越流堰なしのダムブレイク(2次元)



92分割

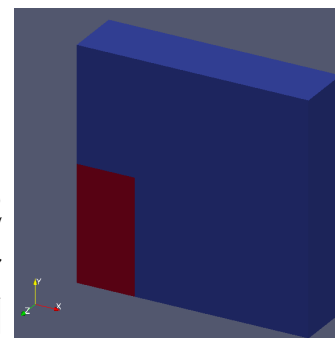
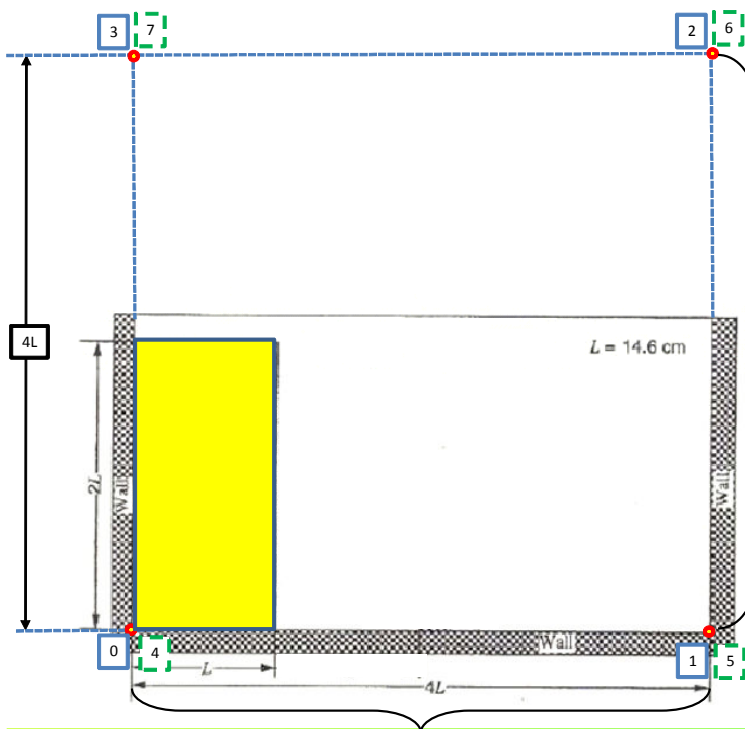
X	Y	Z	節点番号
0	0	0	0
0.584	0	0	1
0.584	0.584	0	2
0	0.584	0	3
0	0	0.01	4
0.584	0	0.01	5
0.584	0.584	0.01	6
0	0.584	0.01	7

2012.2.4

92分割

5/64

2. モデル: 越流堰なしのダムブレイク(3次元)



92分割

面	X	Y	Z	節点番号
後面	0	0	0	0
	0.584	0	0	1
	0.584	0.048	0	2
	0	0.584	0	3
前面	0	0	0.146	4
	0.584	0	0.146	5
	0.584	0.048	0.146	6
	0	0.584	0.146	7

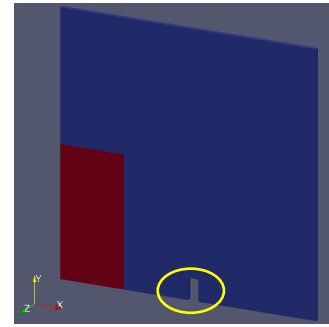
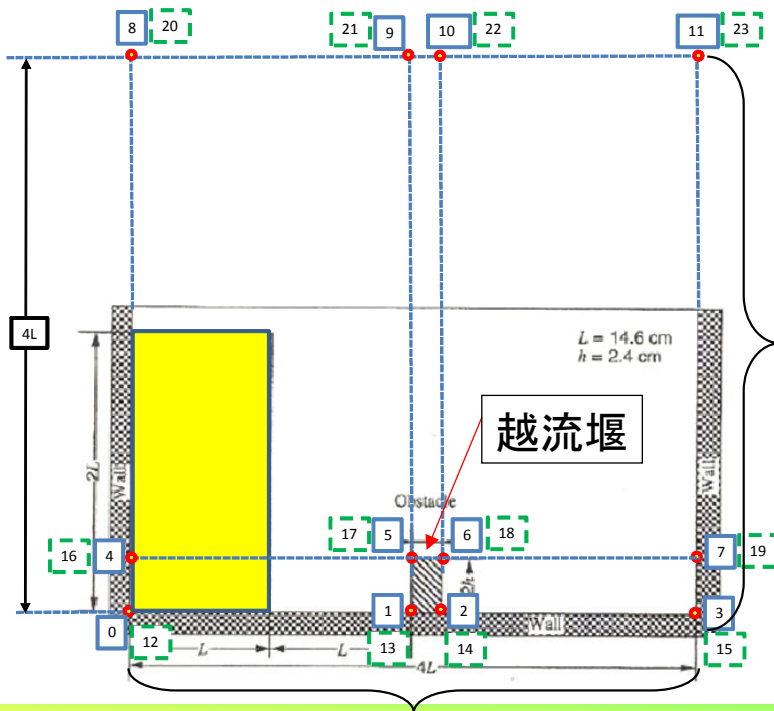
Z方向24分割

2012.2.4

92分割

6/64

2. モデル: 越流堰ありのダムブレイク(2次元)



X	Y	Z	節点番号
0	0	0	0
0.292	0	0	1
0.316	0	0	2
0.584	0	0	3
0	0.048	0	4
0.292	0.048	0	5
0.316	0.048	0	6
0.584	0.048	0	7
0	0.584	0	8
0.292	0.584	0	9
0.316	0.584	0	10
0.584	0.584	0	11
0	0	0.01	12
0.292	0	0.01	13
0.316	0	0.01	14
0.584	0	0.01	15
0	0.048	0.01	16
0.292	0.048	0.01	17
0.316	0.048	0.01	18
0.584	0.048	0.01	19
0	0.584	0.01	20
0.292	0.584	0.01	21
0.316	0.584	0.01	22
0.584	0.584	0.01	23

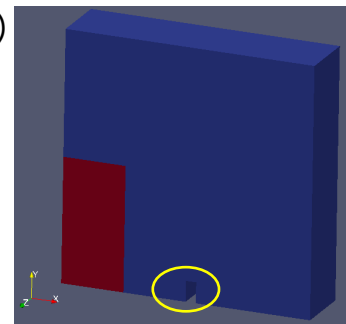
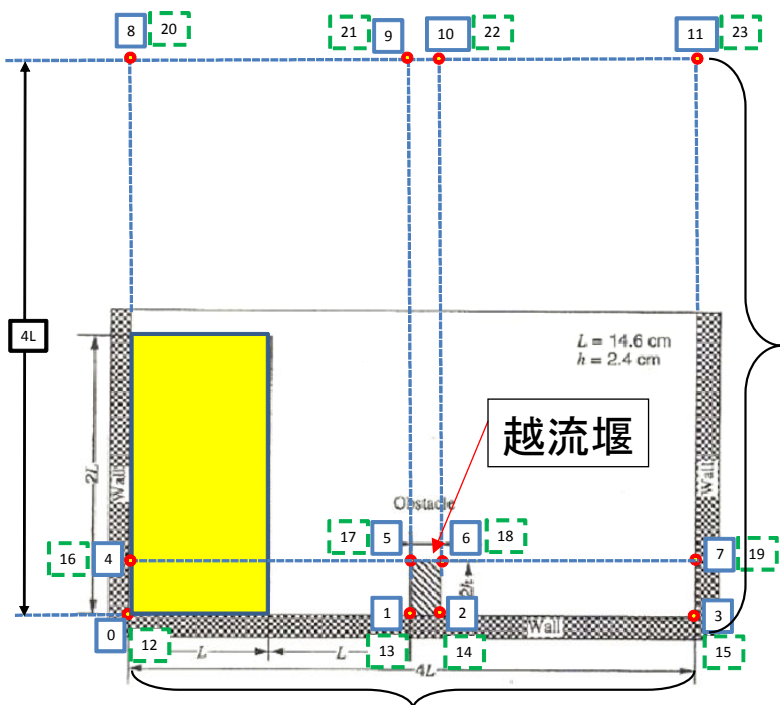
92分割

2012.2.4

92分割

7/64

2. モデル: 越流堰ありのダムブレイク(3次元)



面	X	Y	Z	節点番号
	0	0	0	0
	0.292	0	0	1
	0.316	0	0	2
	0.584	0	0	3
	0	0.048	0	4
	0.292	0.048	0	5
	0.316	0.048	0	6
	0.584	0.048	0	7
	0	0.584	0	8
	0.292	0.584	0	9
	0.316	0.584	0	10
	0.584	0.584	0	11
後側	0	0	0.146	12
	0.292	0	0.146	13
	0.316	0	0.146	14
	0.584	0	0.146	15
	0	0.048	0.146	16
	0.292	0.048	0.146	17
	0.316	0.048	0.146	18
	0.584	0.048	0.146	19
前側	0	0.584	0.146	20
	0.292	0.584	0.146	21
	0.316	0.584	0.146	22
	0.584	0.584	0.146	23

92分割

2012.2.4

92分割

8/64

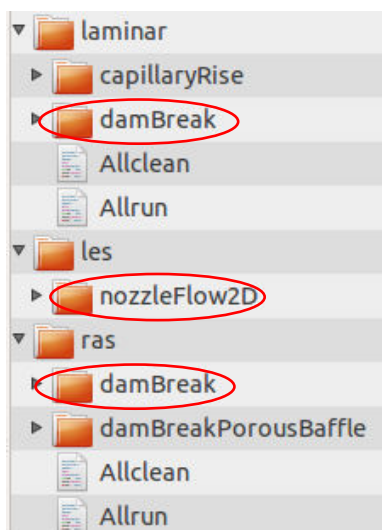
3. 計算設定

2012.2.4

9/64

3. 計算設定

tutorials/multiphase/interFoamにあるlaminar/damBreak, RAS, LESの設定は, LES/nozzleFlow2D, RAS/damBreakを参考にして
います。物性値はチュートリアル値を使っています。



2012.2.4

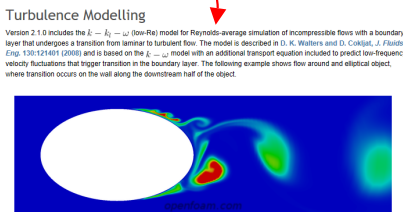
10/64

3. 計算設定：計算に使えるRASモデルは？

- LRR
- LamBremhorstKE
- LaunderGibsonRSTM
- LaunderSharmaKE
- LienCubicKE
- LienCubicKELowRe
- LienLeschzinerLowRe
- NonlinearKESHih
- RNGkEpsilon
- SpalartAllmaras
- kEpsilon
- kOmega
- kOmegaSST
- kkLOmega**
- laminar
- qZeta
- realizableKE

17モデル

マニュアルにはないがOpenFOAMのホームページに説明あり。低レイノズルモデル



2.1.0のPDFマニュアルより 16モデル

RAS turbulence models for incompressible fluids — incompressibleRASModels	
laminar	Dummy turbulence model for laminar flow
kEpsilon	Standard high-Re $k - \epsilon$ model
kOmega	Standard high-Re $k - \omega$ model
kOmegaSST	$k - \omega$ -SST model

Continued on next page

OpenFOAM-2.1.0

3.7 Standard libraries U-101

Continued from previous page

RNGkEpsilon	RNG $k - \epsilon$ model
NonlinearKESHih	Non-linear Shih $k - \epsilon$ model
LienCubicKE	Lien cubic $k - \epsilon$ model
qZeta	$q - \zeta$ model
LaunderSharmaKE	Launder-Sharma low-Re $k - \epsilon$ model
LamBremhorstKE	Lam-Bremhorst low-Re $k - \epsilon$ model
LienCubicKELowRe	Lien cubic low-Re $k - \epsilon$ model
LienLeschzinerLowRe	Lien-Leschziner low-Re $k - \epsilon$ model
LRR	Launder-Reece-Rodi RSTM
LaunderGibsonRSTM	Launder-Gibson RSTM with wall-reflection terms
realizableKE	Realizable $k - \epsilon$ model
SpalartAllmaras	Spalart-Allmaras 1-eqn mixing-length model

3. 計算設定：計算に使えるLESモデルは？

- DeardorffDiffStress
- LRRDiffStress
- Smagorinsky
- SpalartAllmaras
- SpalartAllmarasDDES
- SpalartAllmarasIDDES
- dynLagrangian
- dynOneEqEddy
- homogeneousDynOneEqEddy
- homogeneousDynSmagorinsky
- kOmegaSSTSAS
- oneEqEddy
- laminar
- mixedSmagorinsky
- oneEqEddy
- spectEddyVisc

15モデル

使えるモデルがマニュアルに載っているモデルより少ない。2.1.xのインストールが悪いのか？

どうやらそうでも無い様だ
http://groups.google.com/group/openfoam/browse_thread/thread/9c02946b402abbb

2.1.0のPDFマニュアルより 18モデル

Incompressible LES turbulence models — incompressibleLESModels	
Smagorinsky	Smagorinsky model
Smagorinsky2	Smagorinsky model with 3-D filter
dynSmagorinsky	Dynamic Smagorinsky
homogenousDynSmagorinsky	Homogeneous dynamic Smagorinsky model
dynLagrangian	Lagrangian two equation eddy-viscosity model
scaleSimilarity	Scale similarity model
mixedSmagorinsky	Mixed Smagorinsky/scale similarity model
dynMixedSmagorinsky	Dynamic mixed Smagorinsky/scale similarity model
kOmegaSSTSAS	$k - \omega$ -SST scale adaptive simulation (SAS) model
oneEqEddy	k -equation eddy-viscosity model
dynOneEqEddy	Dynamic k -equation eddy-viscosity model
locDynOneEqEddy	Localised dynamic k -equation eddy-viscosity model

Continued on next page

OpenFOAM-2.1.0

U-102 Applications and libraries

Continued from previous page

spectEddyVisc	Spectral eddy viscosity model
LRRDiffStress	LRR differential stress model
DeardorffDiffStress	Deardorff differential stress model
SpalartAllmaras	Spalart-Allmaras model
SpalartAllmarasDDES	Spalart-Allmaras delayed detached eddy simulation (DDES) model
SpalartAllmarasIDDES	Spalart-Allmaras improved DDES (IDDES) model

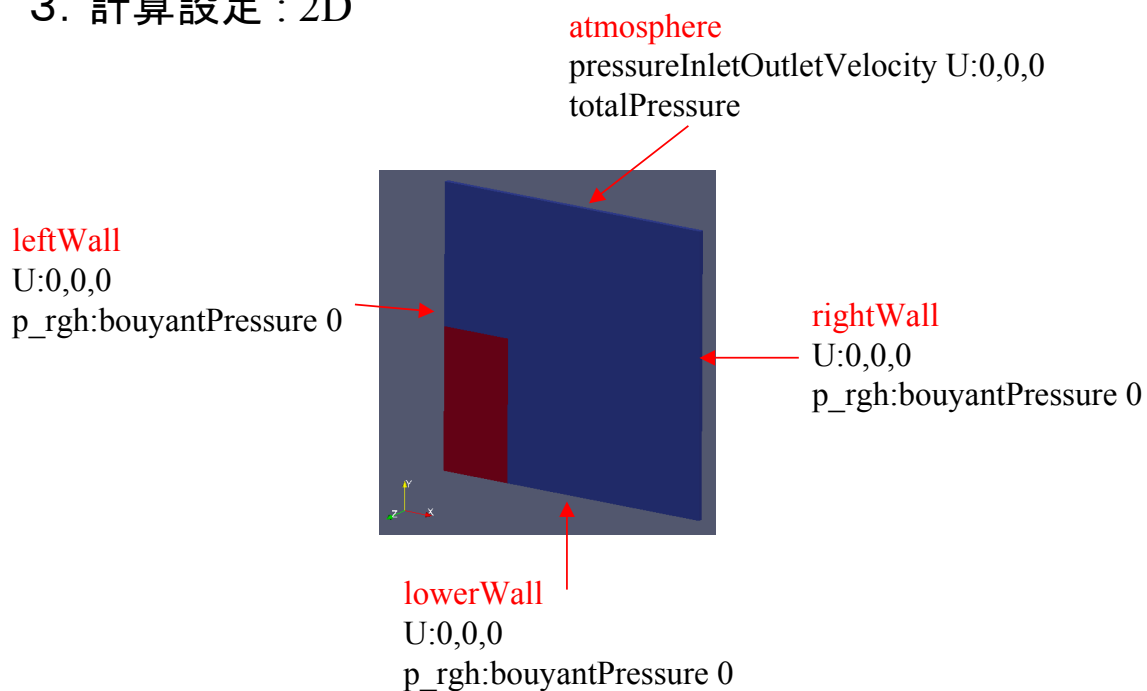
3. 計算設定

OpenFOAMでサポートされるRAS, LESモデル全部を試したいと思いますが、まずは今回の報告では次のモデルで計算を実施しています。

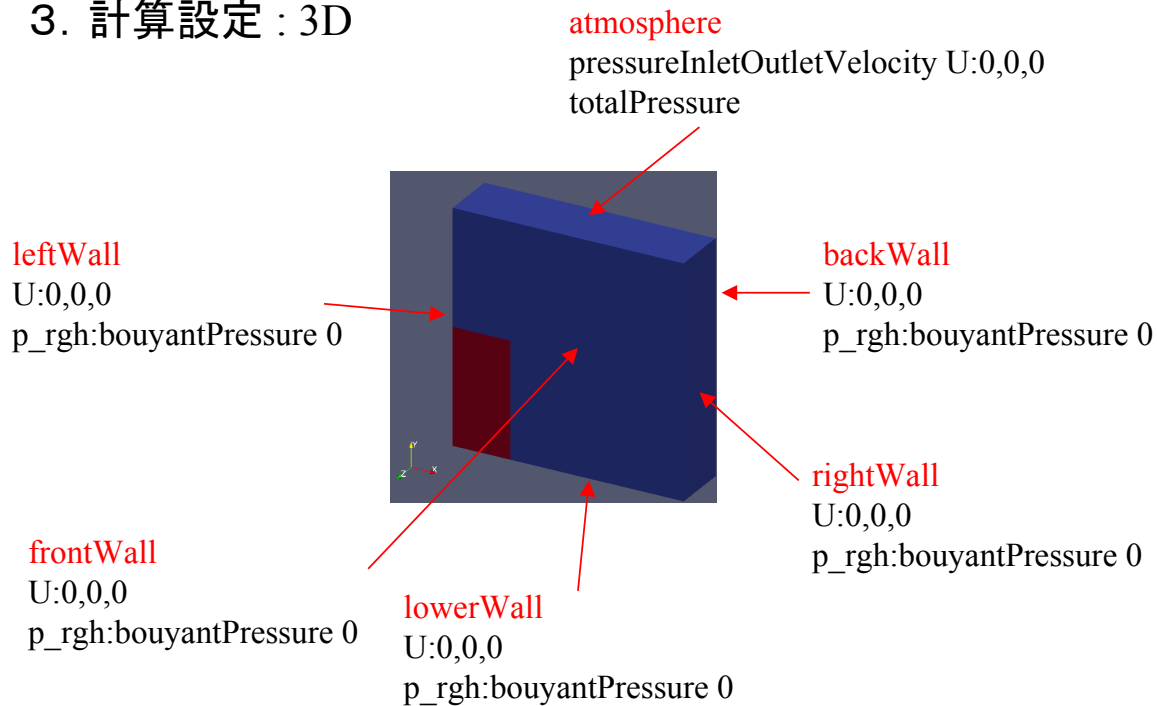
次元	乱流モデル	laminar	RAS				LES		
			kEpsilon	kOmegaSST	RNGkEpsilon	realizableKE	oneEqEddy	Smagorinsky	dynOneEqEddy
2D	越流堰 なし	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	越流堰 あり	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
3D	越流堰 なし	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)
	越流堰 あり	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)

LESモデル
 delta smooth
 filter simple

3. 計算設定 : 2D



3. 計算設定 : 3D



3. 計算設定 : ϵ から ω への変換

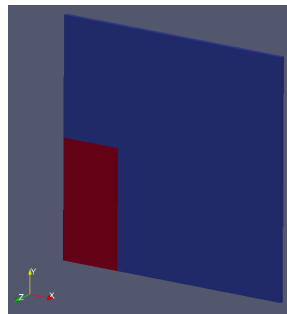
ϵ から ω への変換は下記の関係を利用して行う。
 $k\epsilon$ モデルで k , ϵ が与えられているので, $C_\mu = 0.09$ とすると l が求まる。その l を使う事で, ω が計算できる。

$$\epsilon = C_\mu^{\frac{3}{4}} \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l}$$

$$\omega = C_\mu^{-\frac{1}{4}} \frac{\sqrt{k}}{l}$$

4. 計算結果

越流堰なし(2次元)



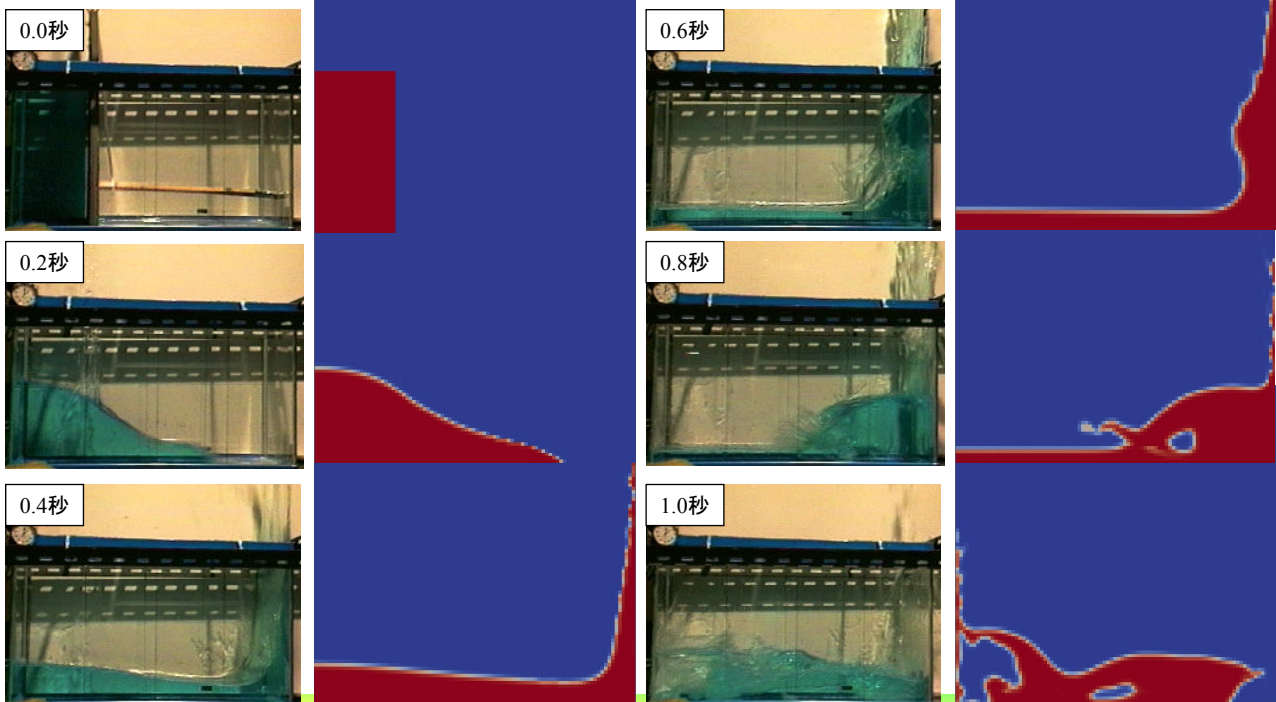
2012.2.4

17/64

4. 計算結果:越流堰なし(2次元) laminar

モデル番号(1)

越塚らの実験

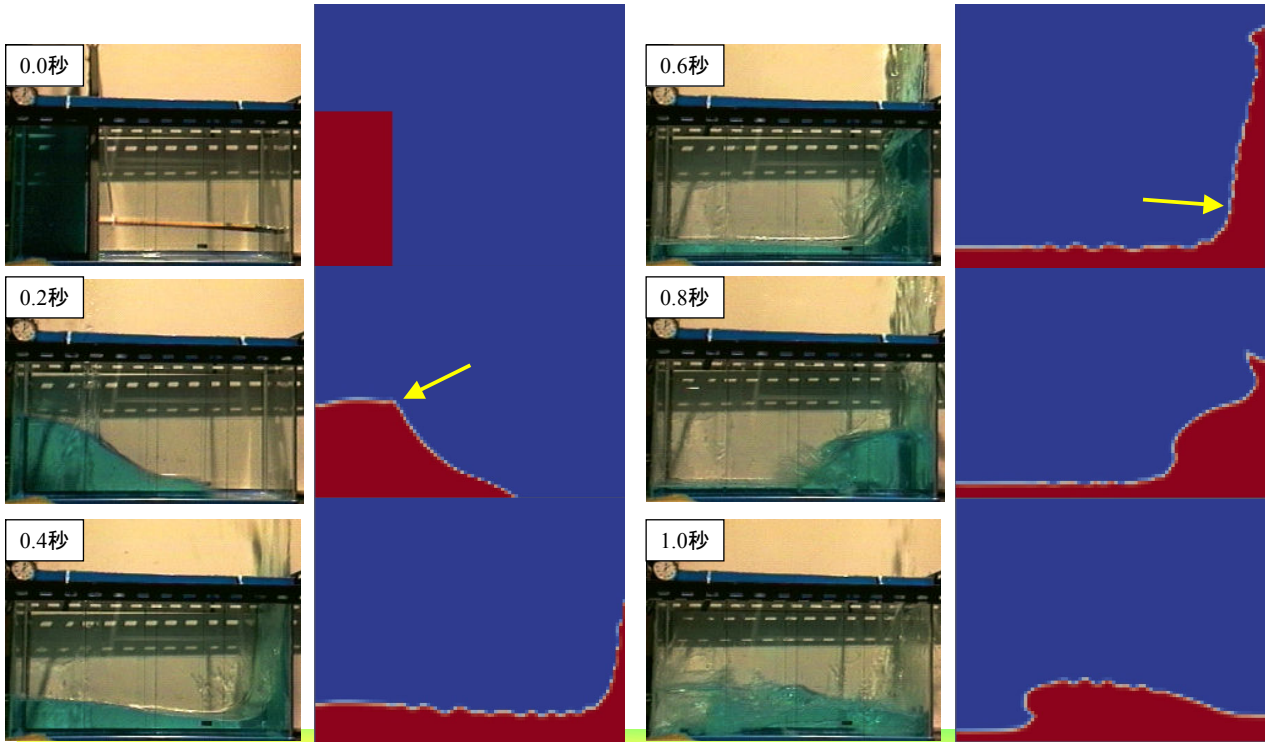


2012.2.4

18/64

4. 計算結果:越流堰なし(2次元) RAS kEpsilon

モデル番号(2)

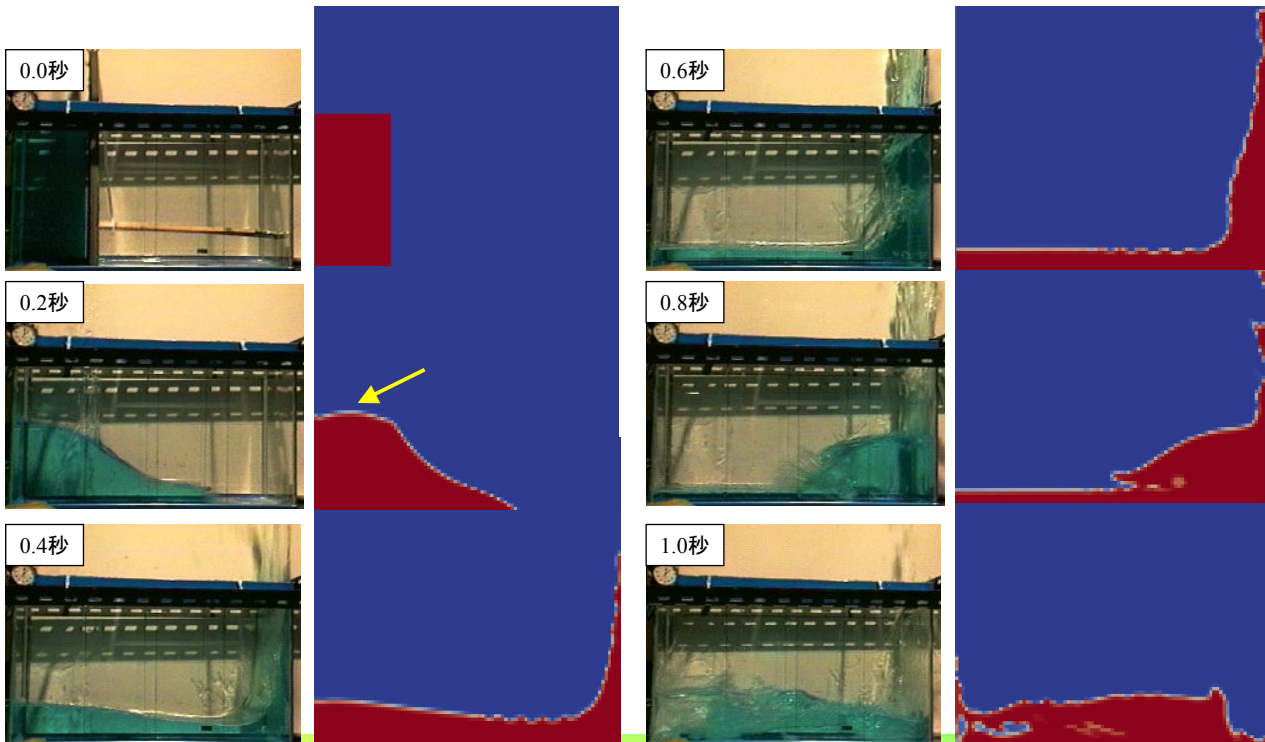


2012.2.4

19/64

4. 計算結果:越流堰なし(2次元) RAS kOmegaSST

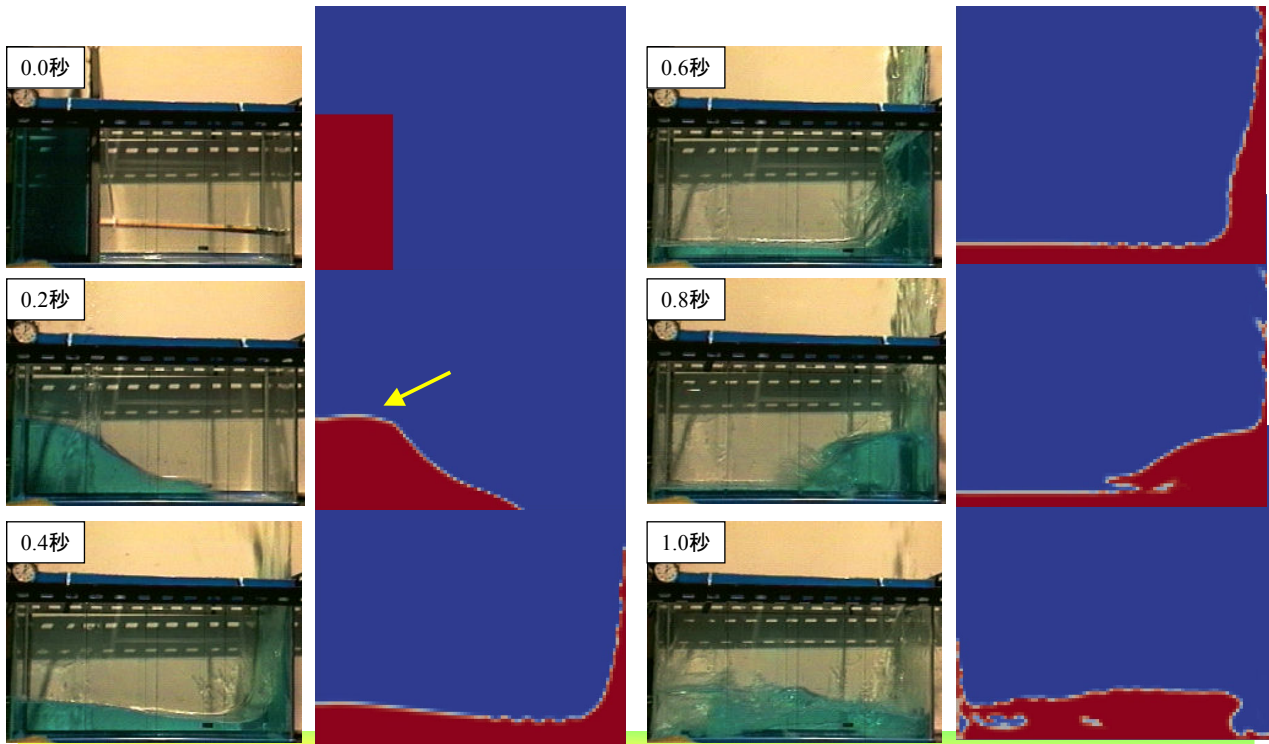
モデル番号(3)



2012.2.4

20/64

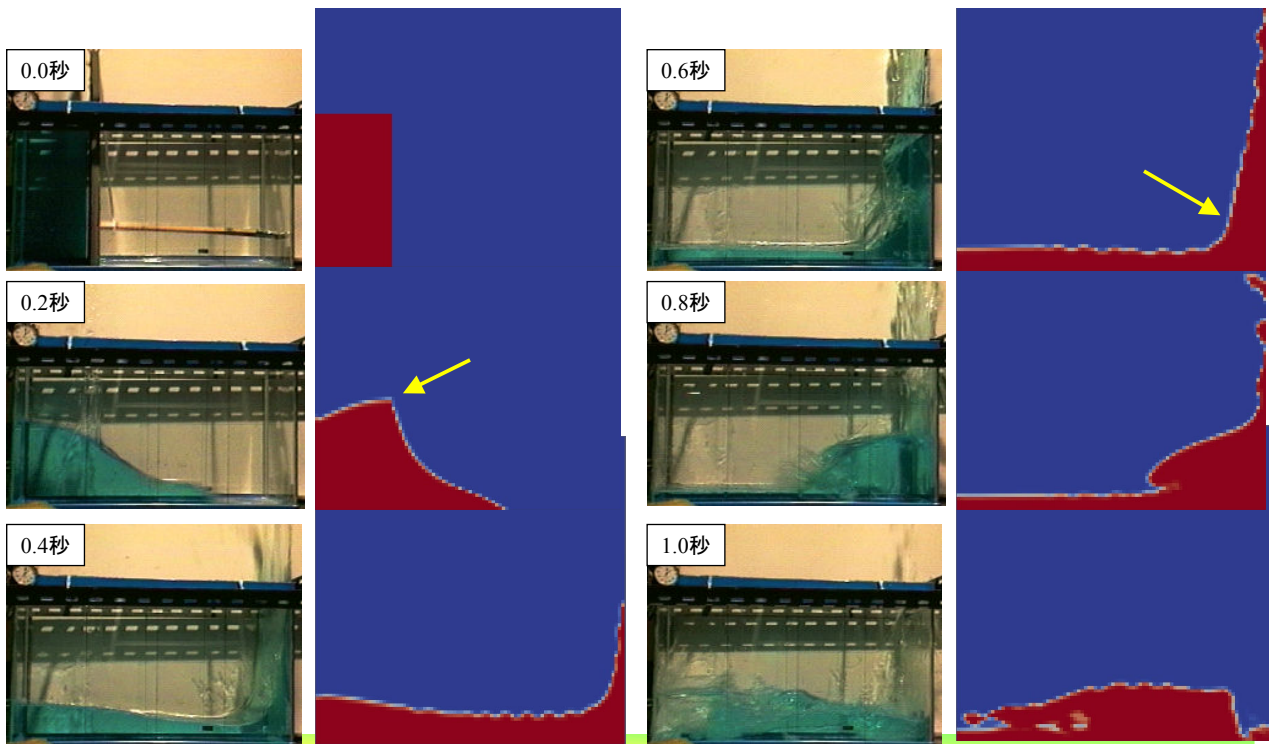
4. 計算結果:越流堰なし(2次元) RAS RNGkEpsilon モデル番号(4)



2012.2.4

21/64

4. 計算結果:越流堰なし(2次元) RAS realizableKE モデル番号(5)



2012.2.4

22/64

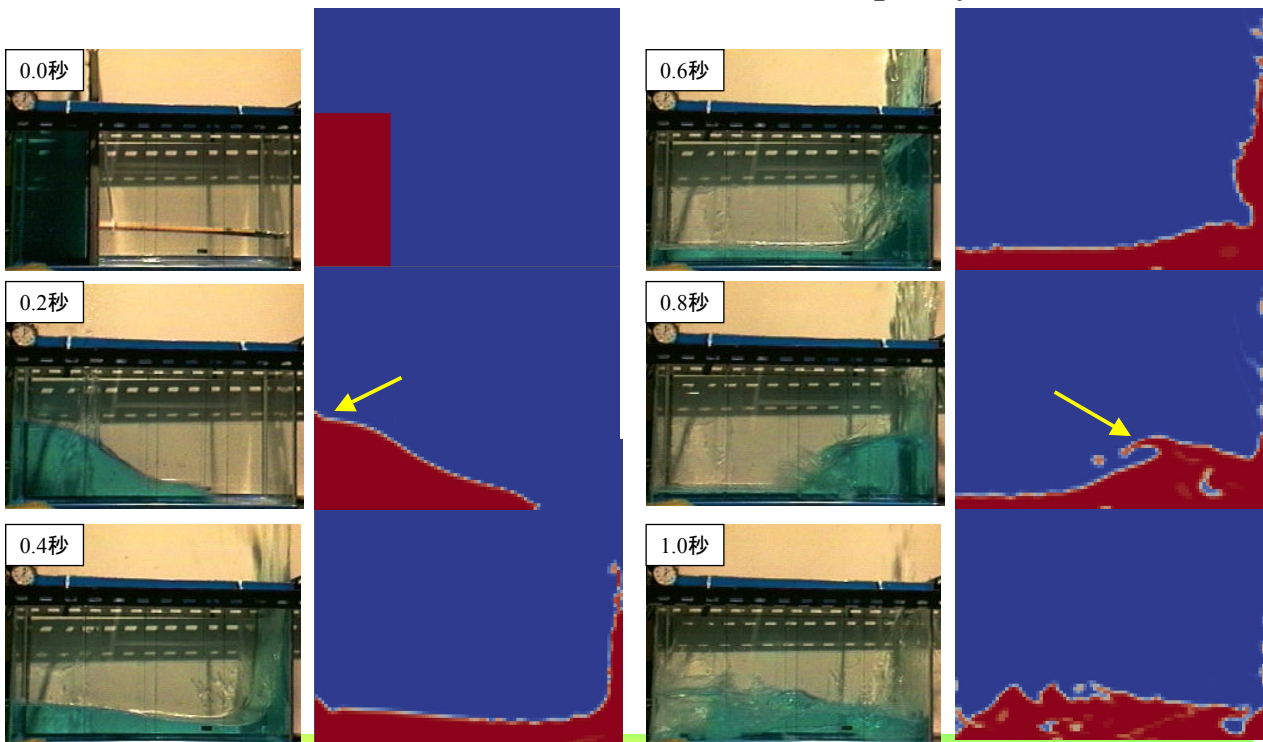
4. 計算結果:2D LESモデルでの注意点

3Dで使われるフィルタを2Dで計算に用いるため下記の注意が
出ます。

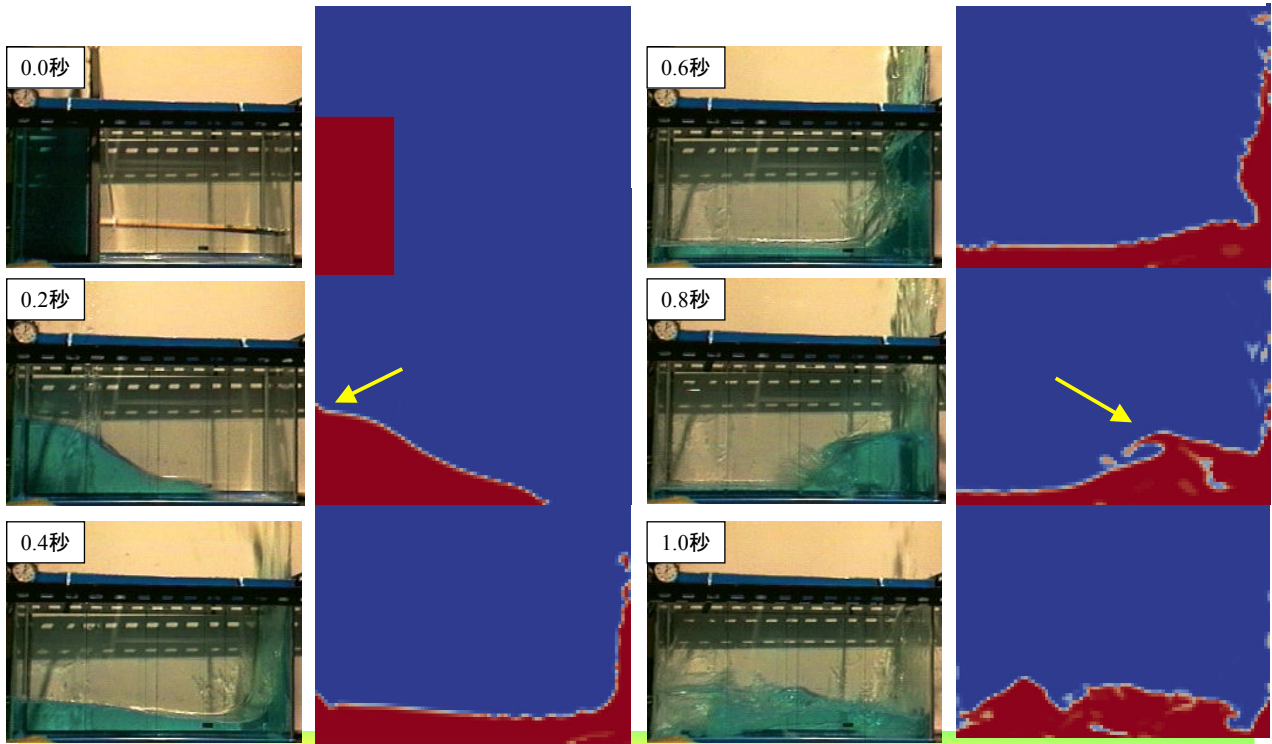
From function cubeRootVolDelta::calcDelta()
in file cubeRootVolDelta/cubeRootVolDelta.C at line 52

Case is 2D, LES is not strictly applicable

4. 計算結果:越流堰なし(2次元) LES oneEqEddy モデル番号(6)



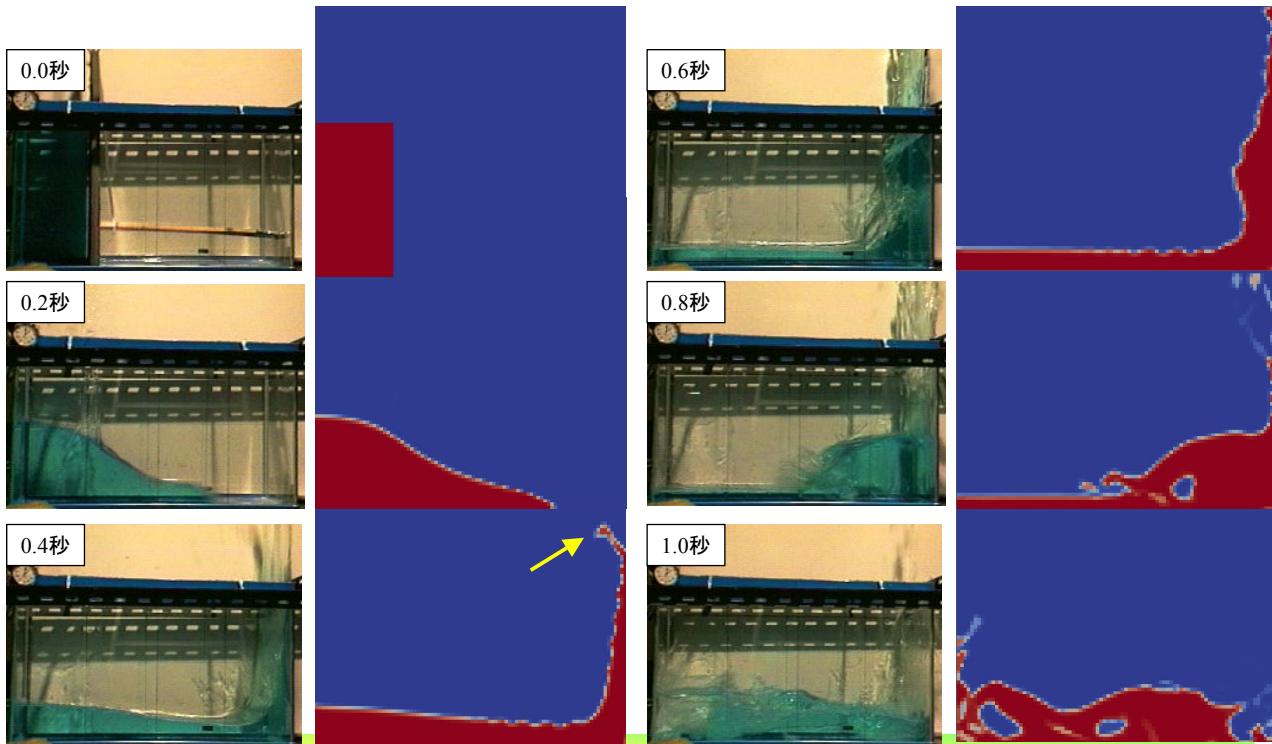
4. 計算結果:越流堰なし(2次元) LES Smagorinsky モデル番号(7)



2012.2.4

25/64

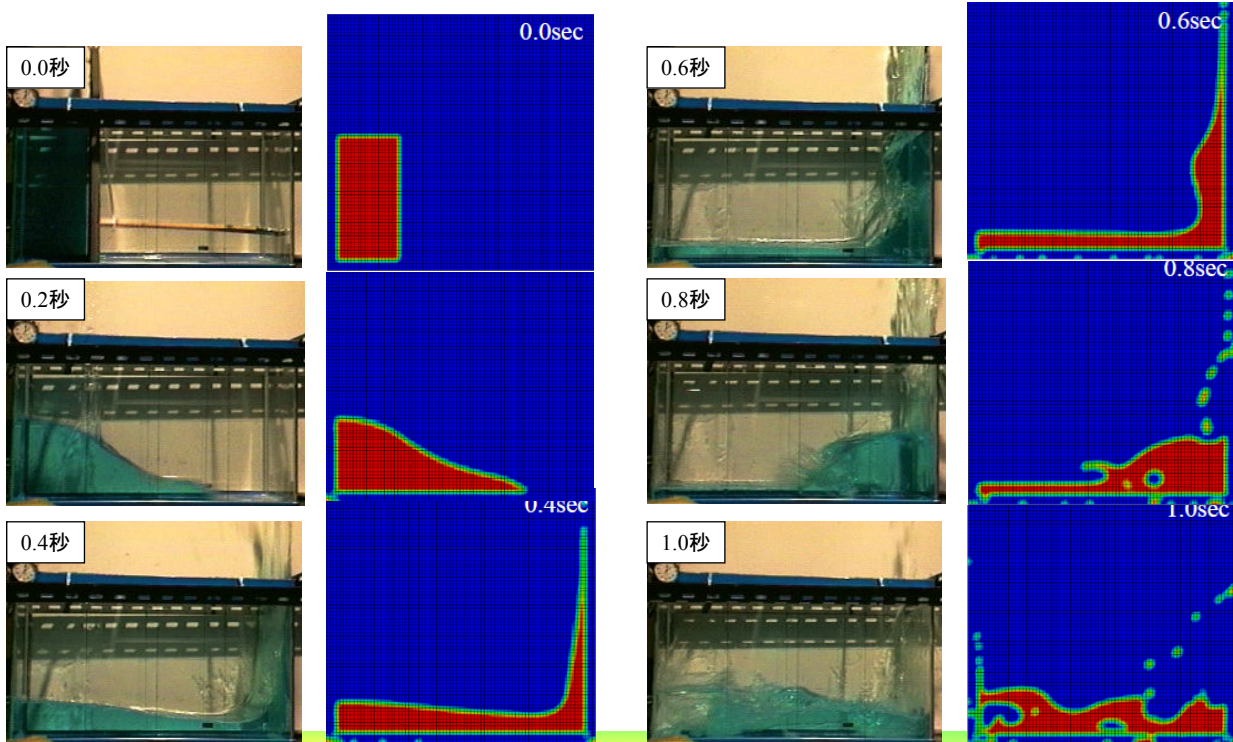
4. 計算結果:越流堰なし(2次元) LES dynOneEqEddy モデル番号(8)



2012.2.4

26/64

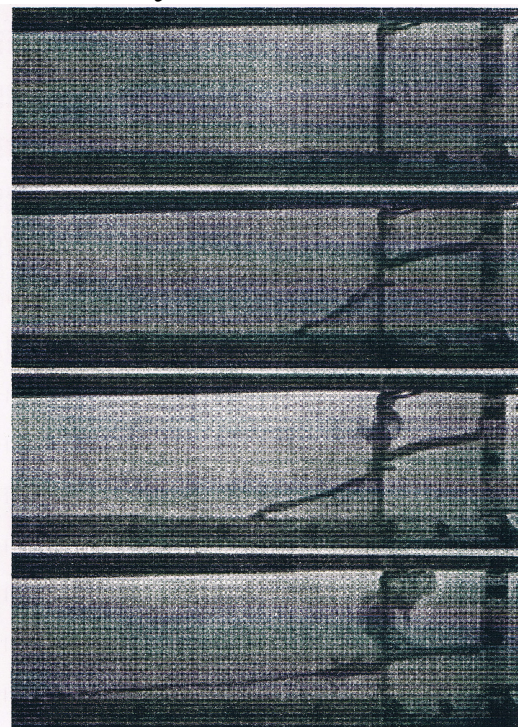
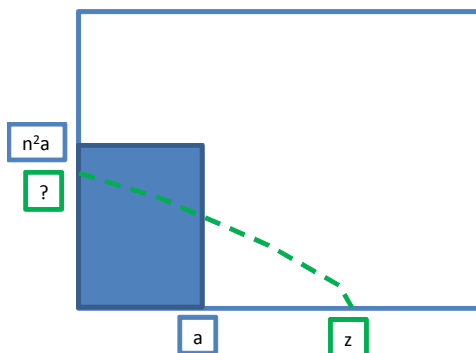
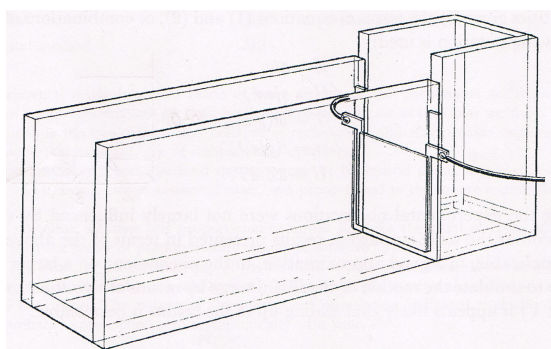
4. 越流堰なし(2次元) Abaqus (Euler) Mechanical Design 2009より引用



2012.2.4

27/64

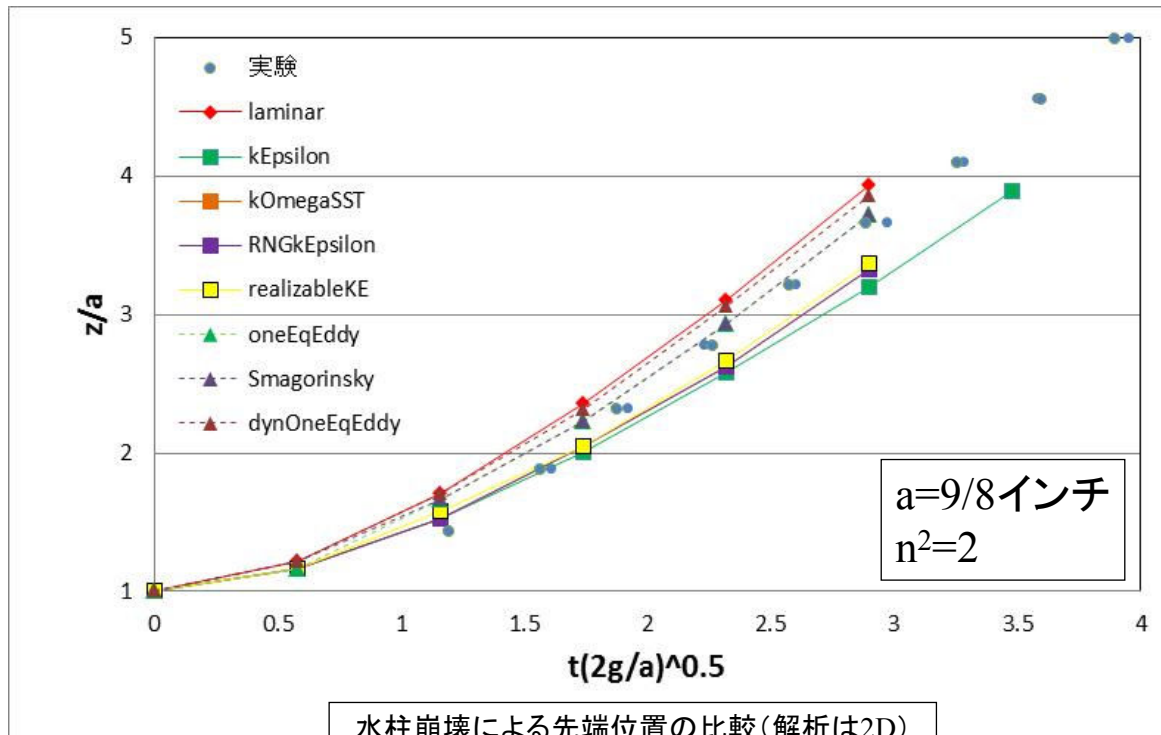
4. 越流堰なし(2次元) J.C.Martin, W.J.Moyceの実験との比較



2012.2.4

28/64

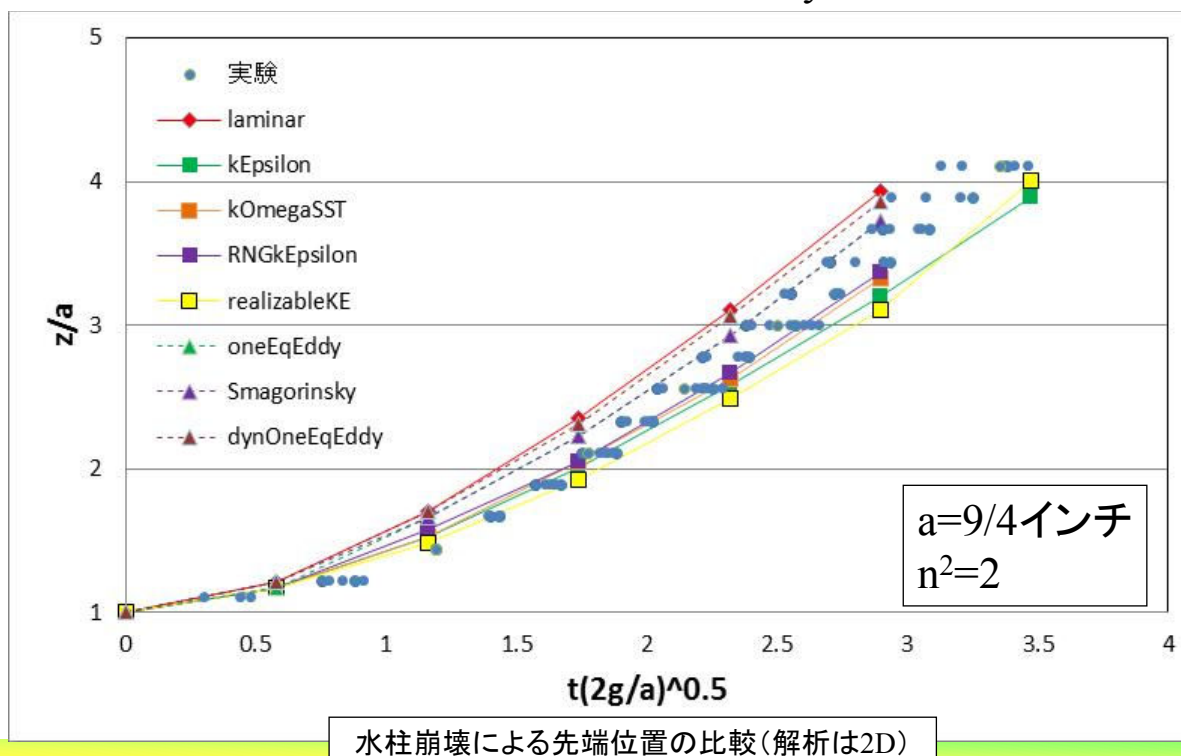
4. 越流堰なし(2次元) J.C.Martin, W.J.Moyceの実験との比較



2012.2.4

29/64

4. 越流堰なし(2次元) J.C.Martin, W.J.Moyceの実験との比較

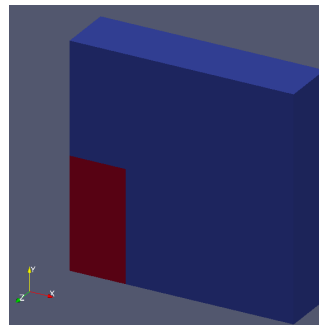


2012.2.4

30/64

4. 計算結果

越流堰なし(3次元)



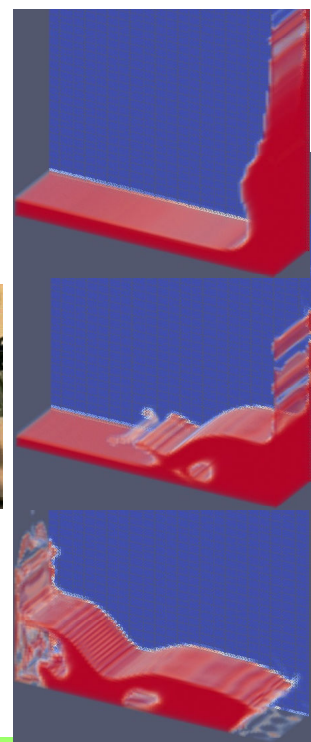
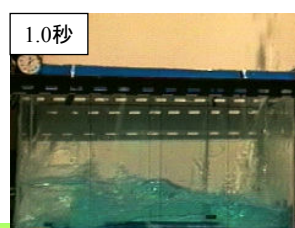
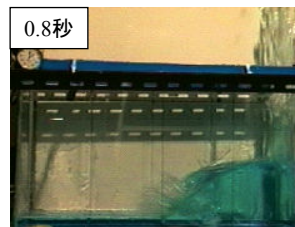
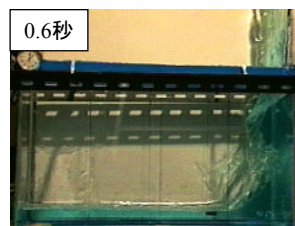
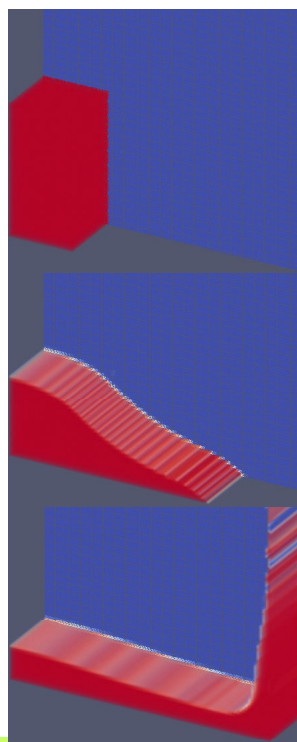
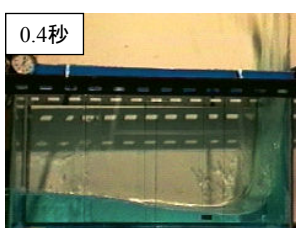
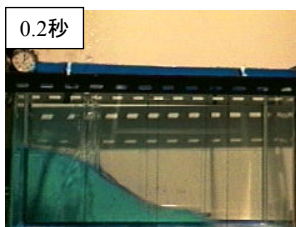
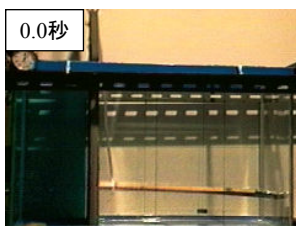
2012.2.4

31/64

4. 計算結果:越流堰なし(3次元) laminar

モデル番号(9)

越塚らの実験

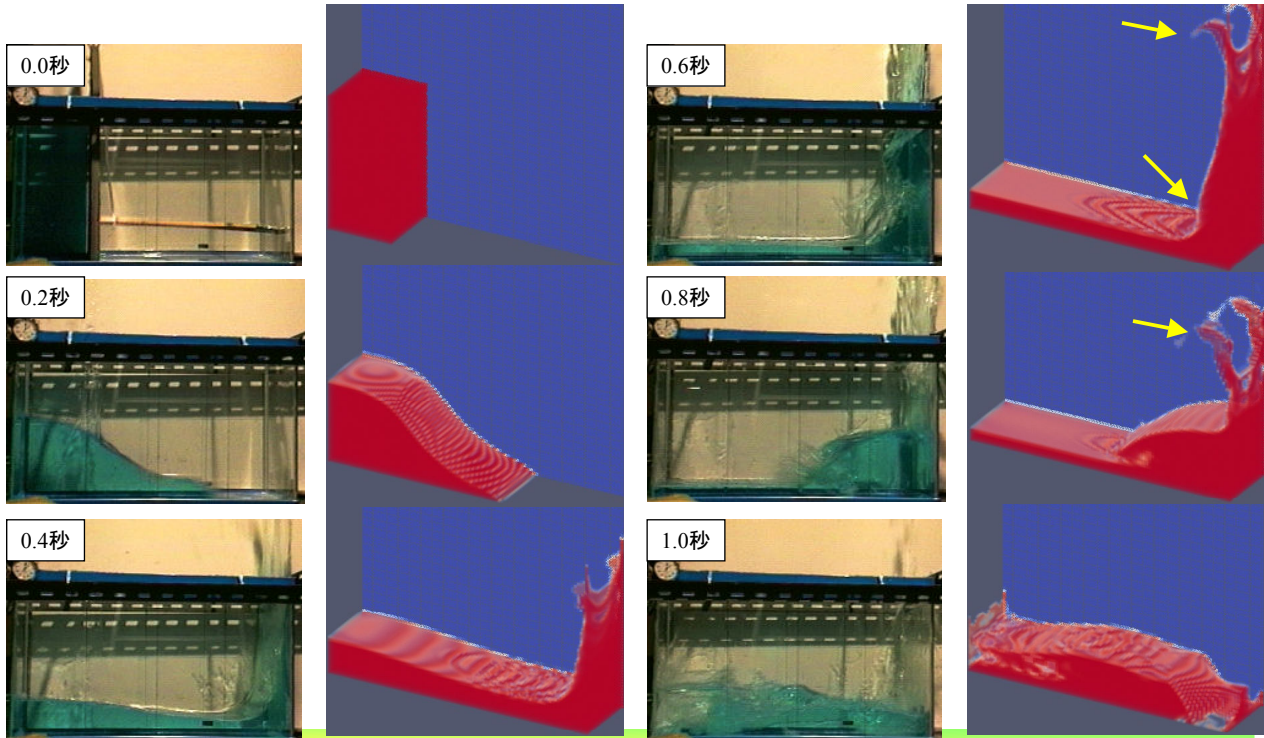


2012.2.4

32/64

4. 計算結果:越流堰なし(3次元) RAS kEpsilon

モデル番号(10)

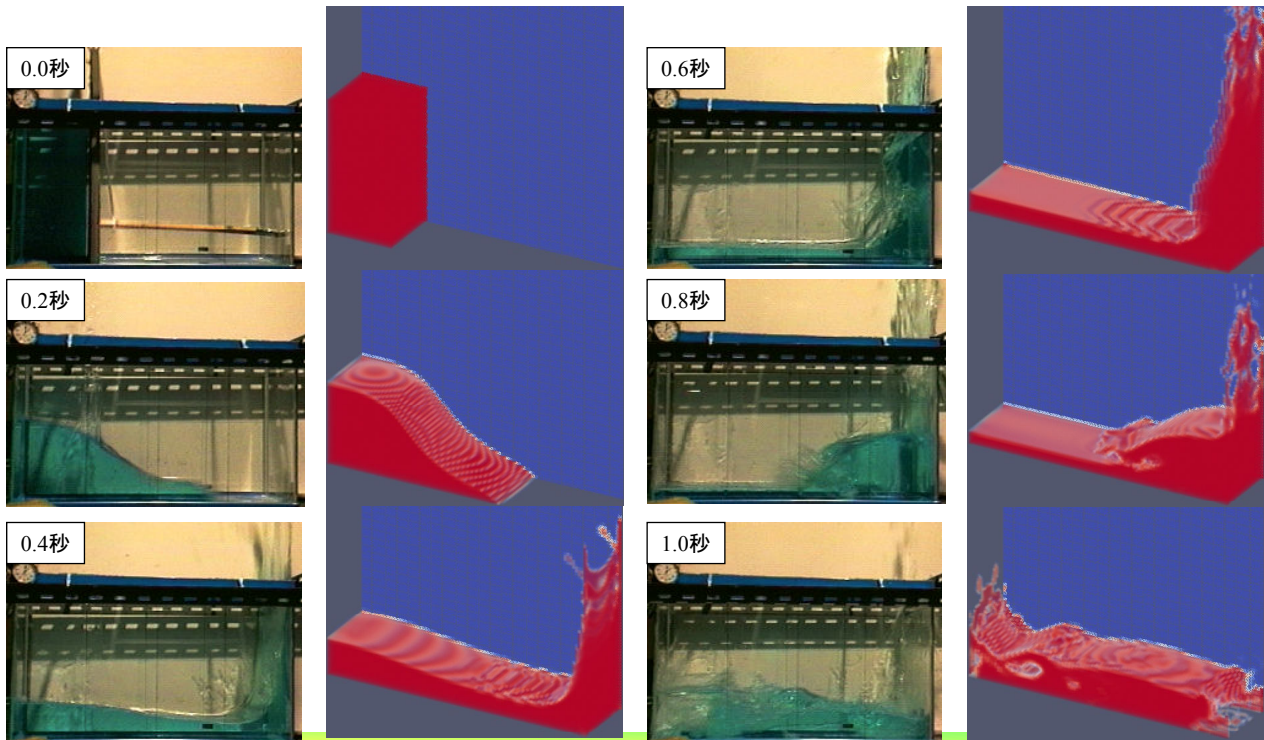


2012.2.4

33/64

4. 計算結果:越流堰なし(3次元) RAS kOmegaSST

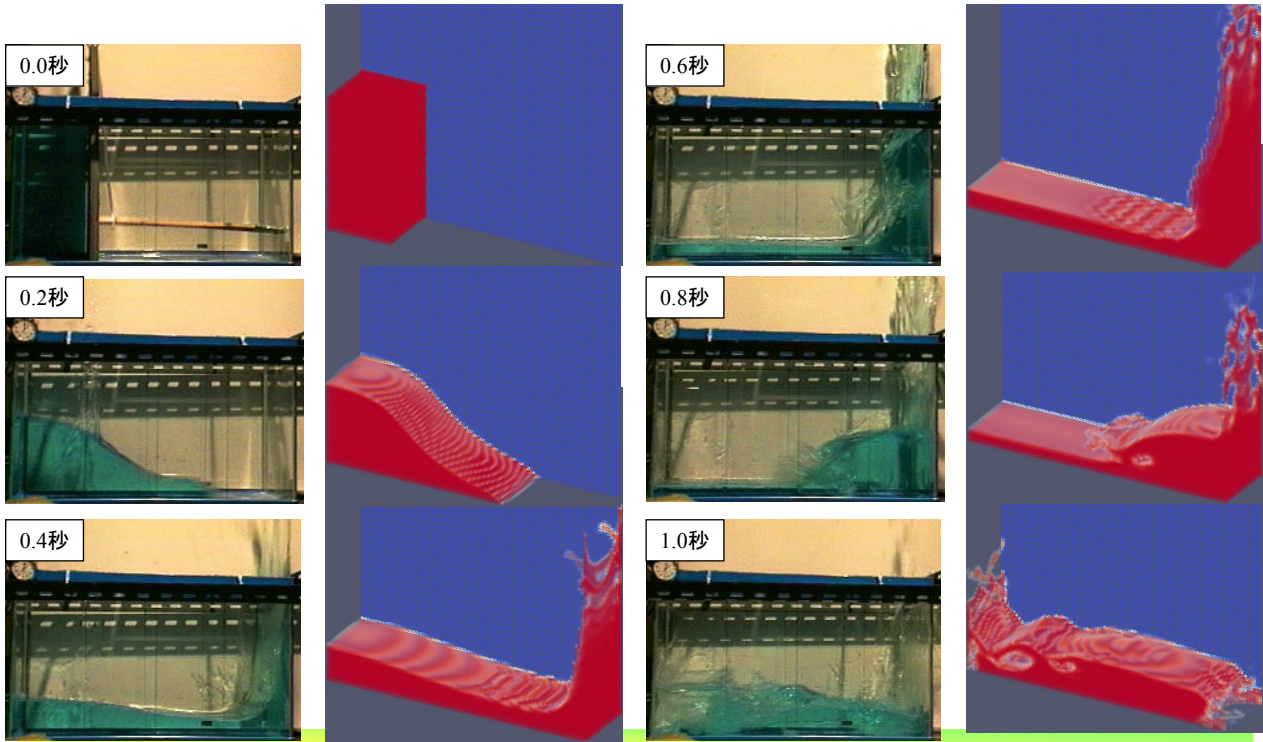
モデル番号(11)



2012.2.4

34/64

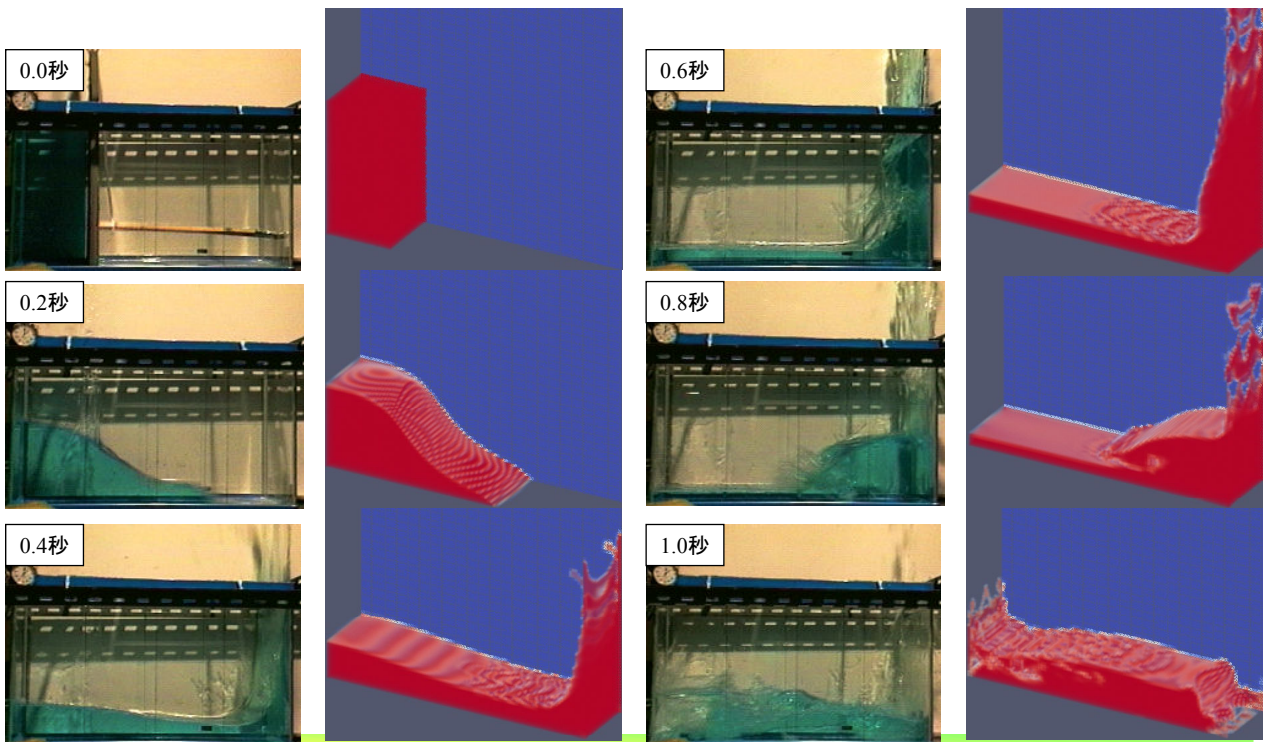
4. 計算結果:越流堰なし(3次元) RAS RNGkEpsilon モデル番号(12)



2012.2.4

35/64

4. 計算結果:越流堰なし(3次元) RAS realizableKE モデル番号(13)

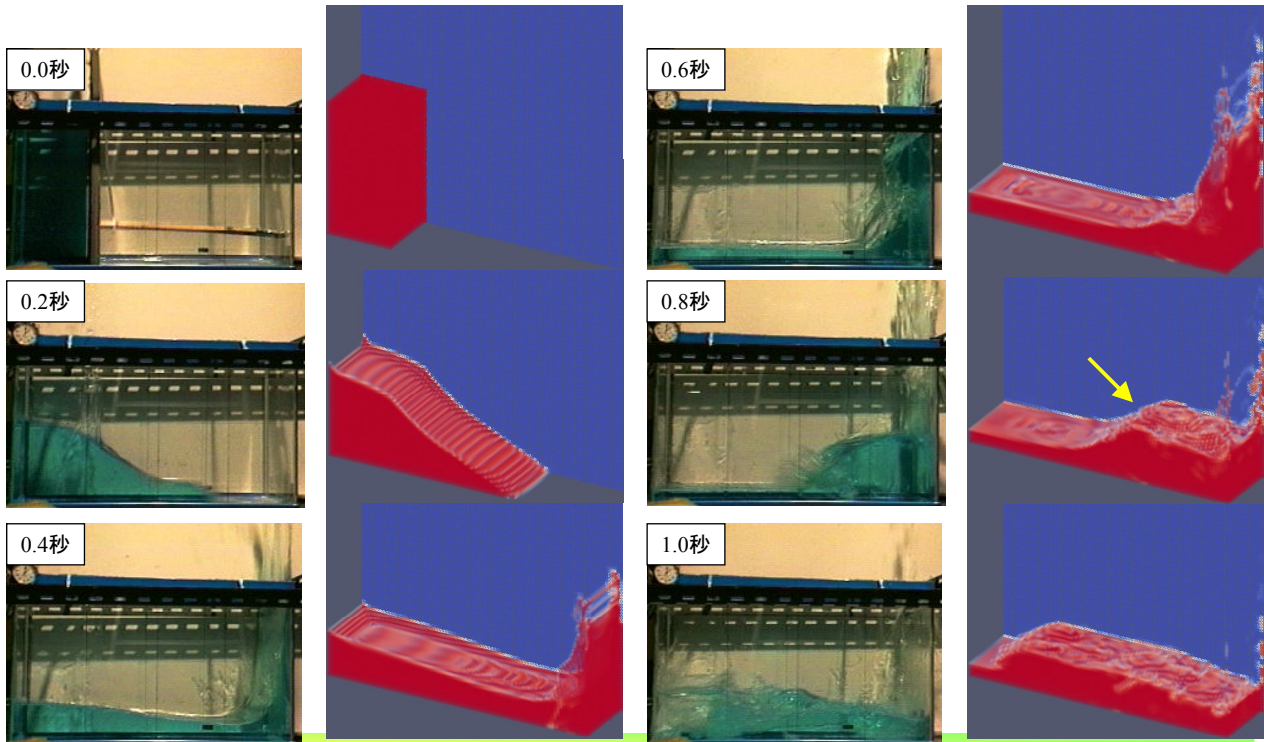


2012.2.4

36/64

4. 計算結果:越流堰なし(3次元) LES oneEqEddy

モデル番号(14)

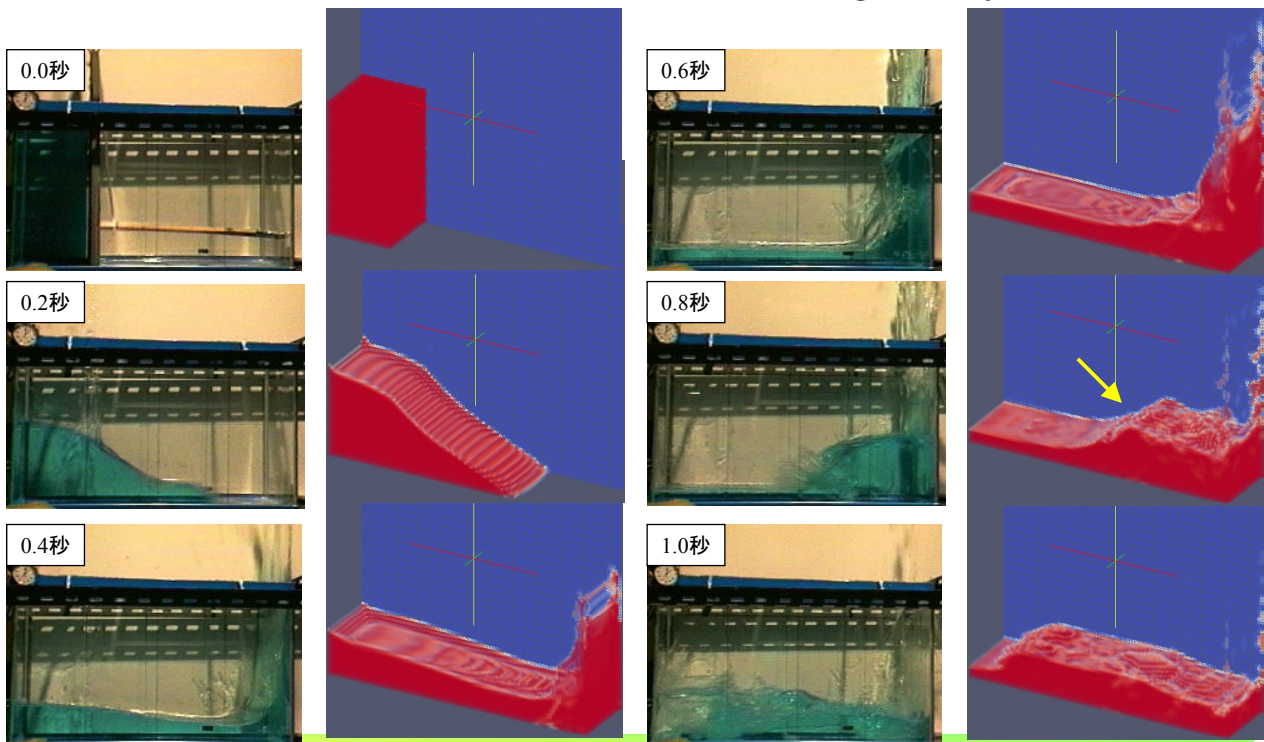


2012.2.4

37/64

4. 計算結果:越流堰なし(3次元) LES Smagorinsky

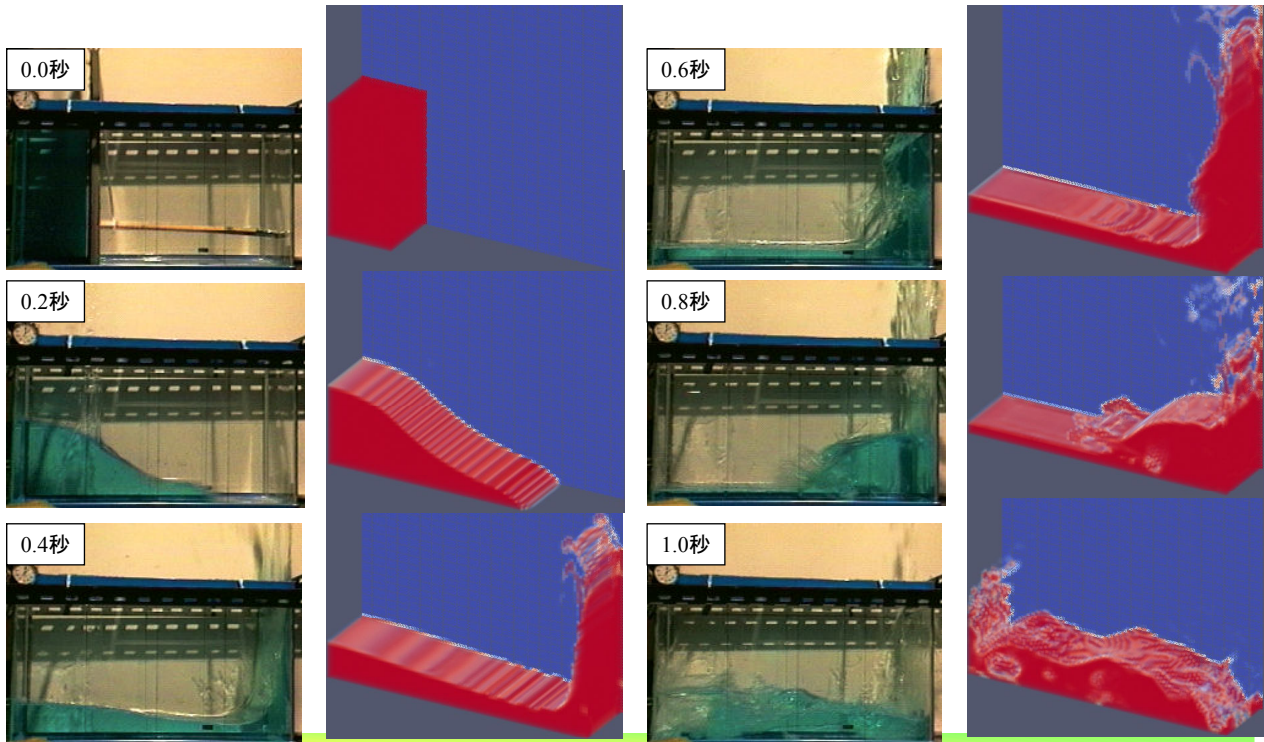
モデル番号(15)



2012.2.4

38/64

4. 計算結果:越流堰なし(3次元) LES dynOneEqEddyモデル番号(16)

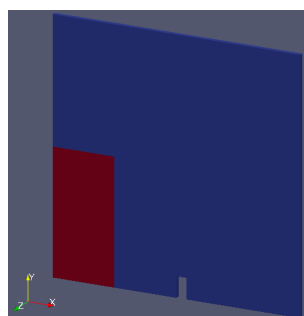


2012.2.4

39/64

4. 計算結果

越流堰あり(2次元)



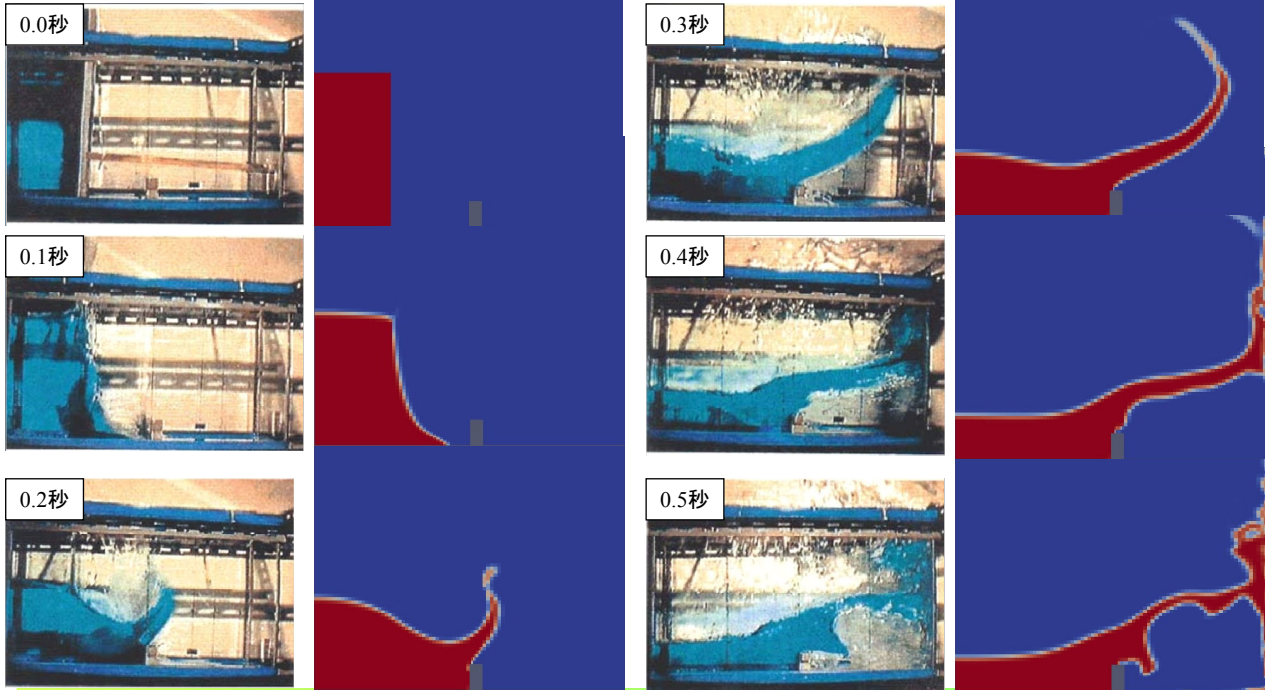
2012.2.4

40/64

4. 計算結果:越流堰あり(2次元) laminar

モデル番号(17)

越塚らの実験

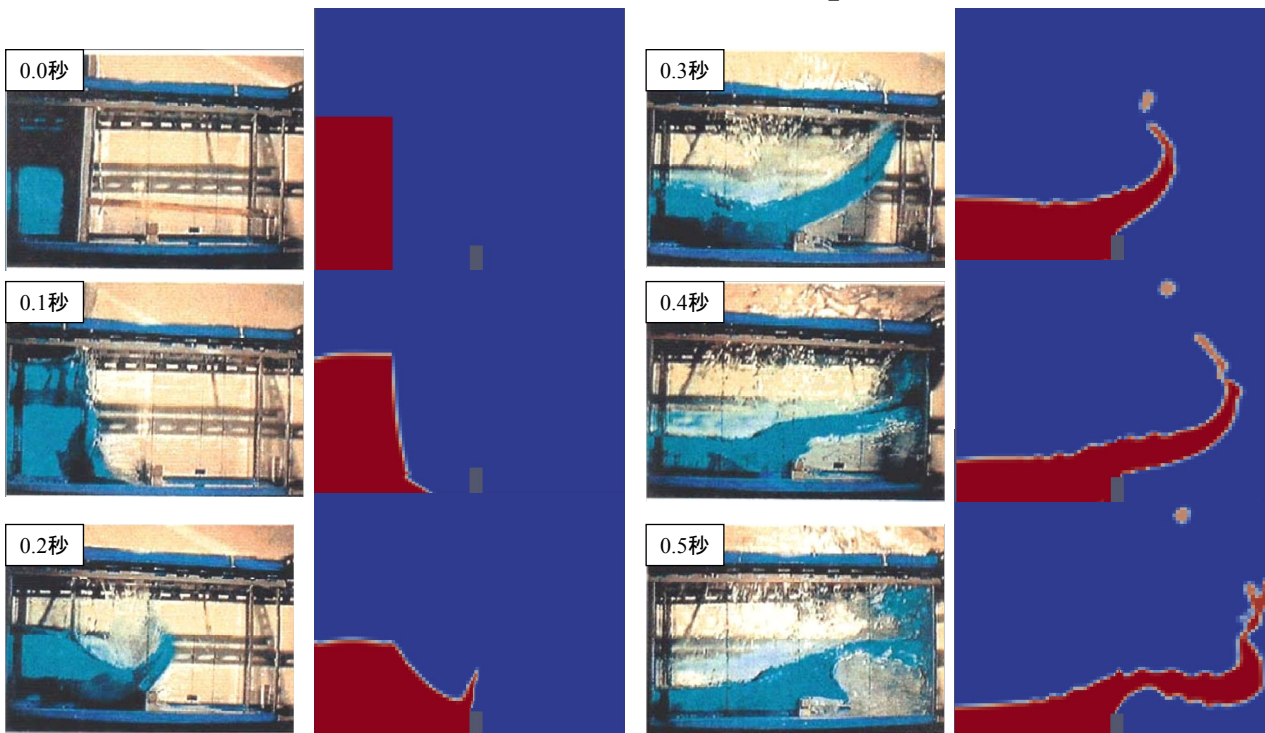


2012.2.4

41/64

4. 計算結果:越流堰あり(2次元) RAS kEpsilon

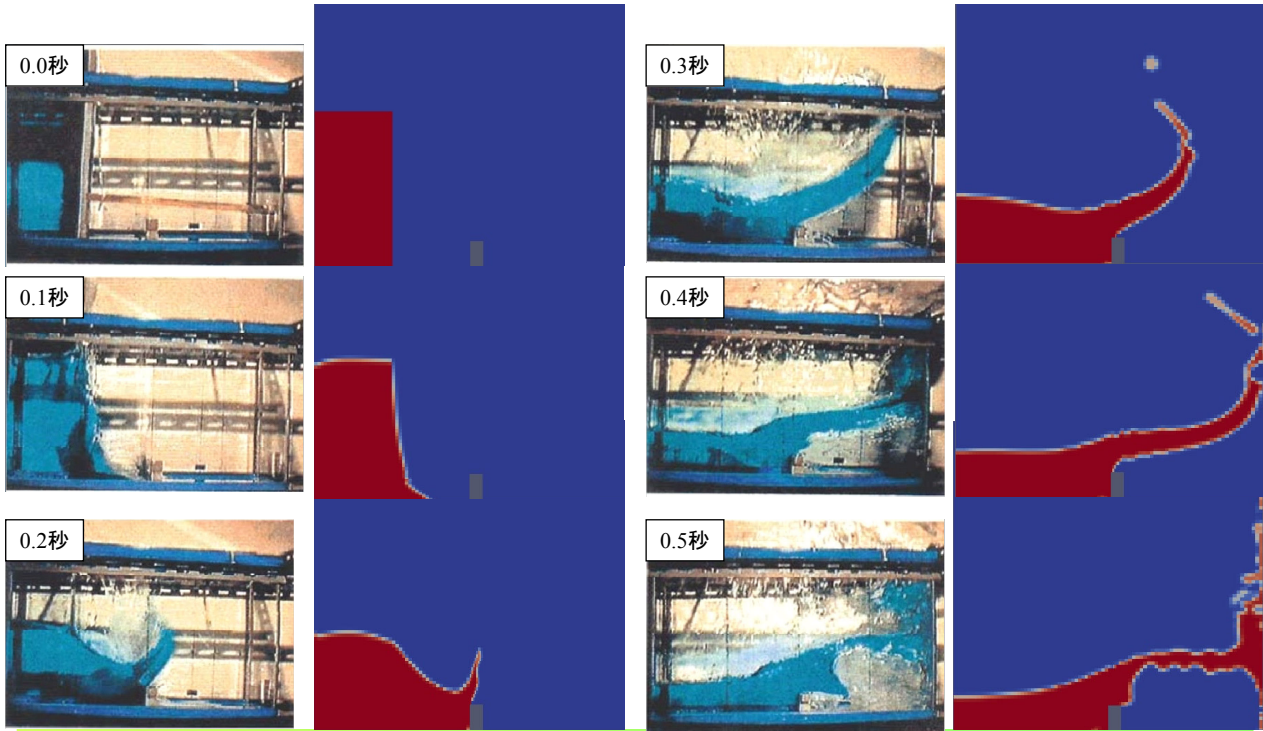
モデル番号(18)



2012.2.4

42/64

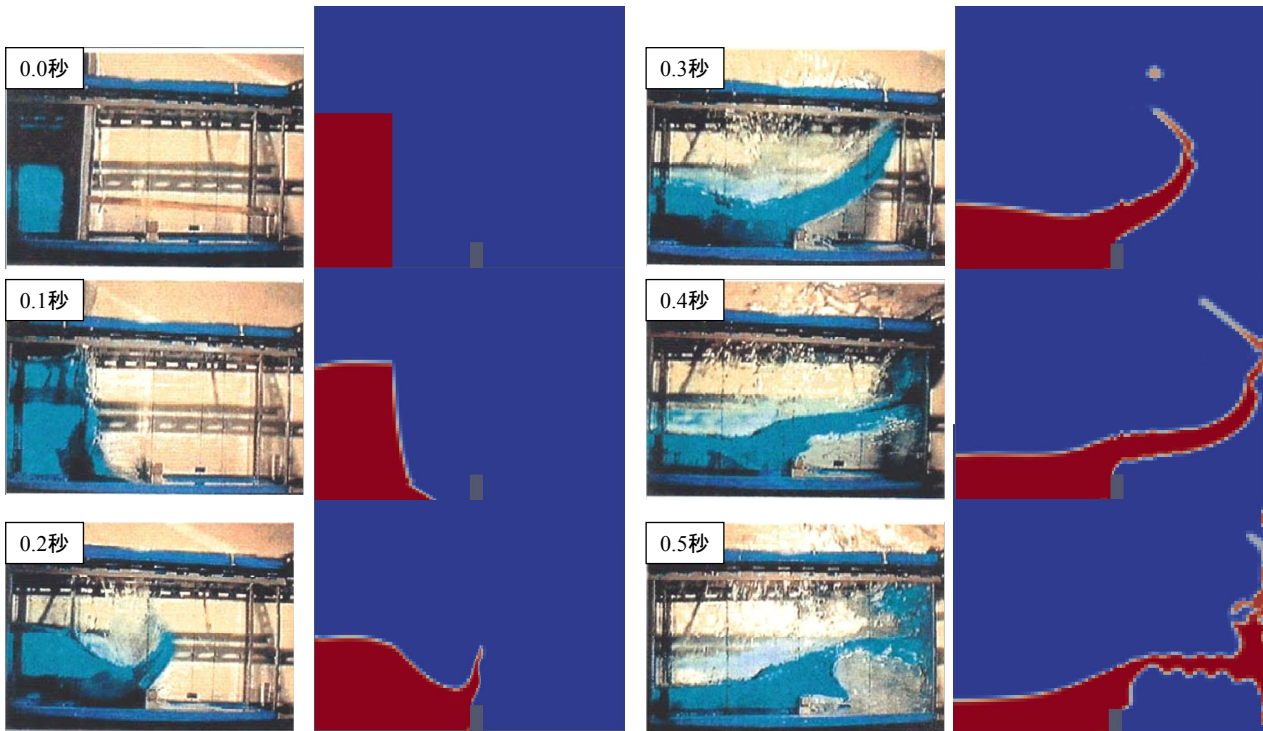
4. 計算結果:越流堰あり(2次元) RAS kOmegaSST モデル番号(19)



2012.2.4

43/64

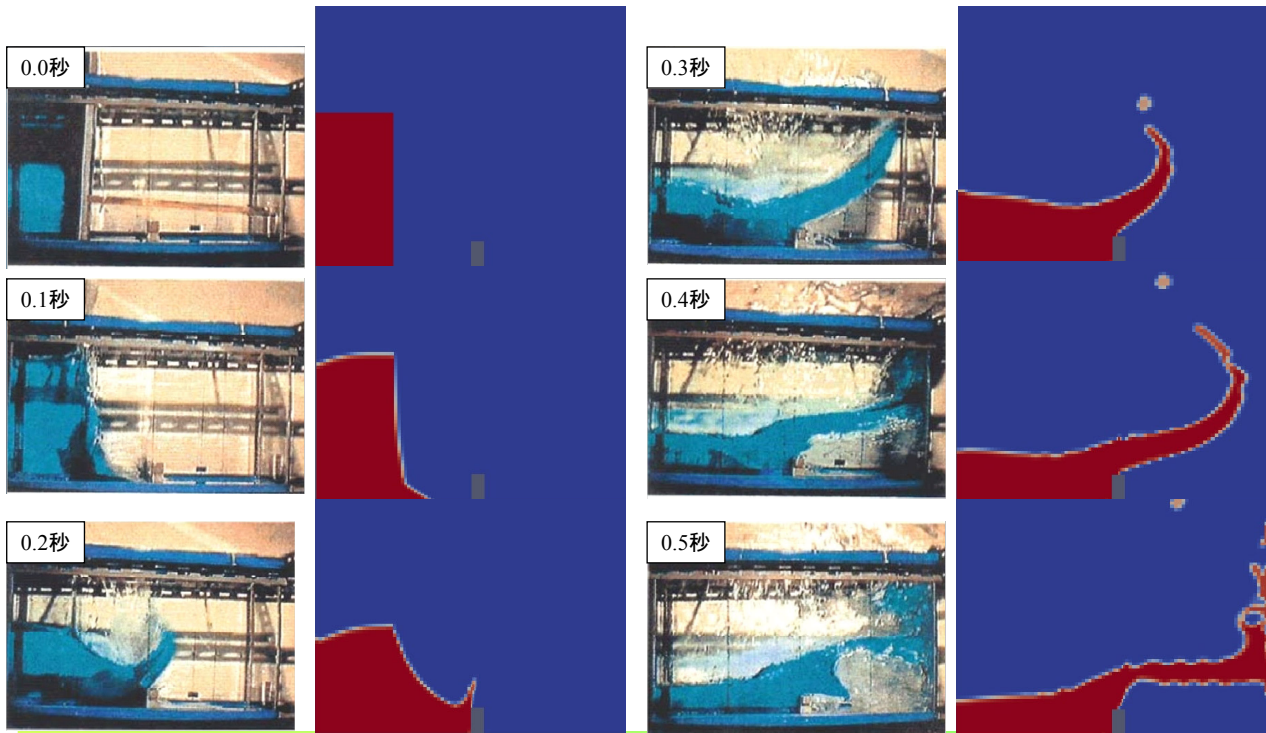
4. 計算結果:越流堰あり(2次元) RAS RNGEpsilon モデル番号(20)



2012.2.4

44/64

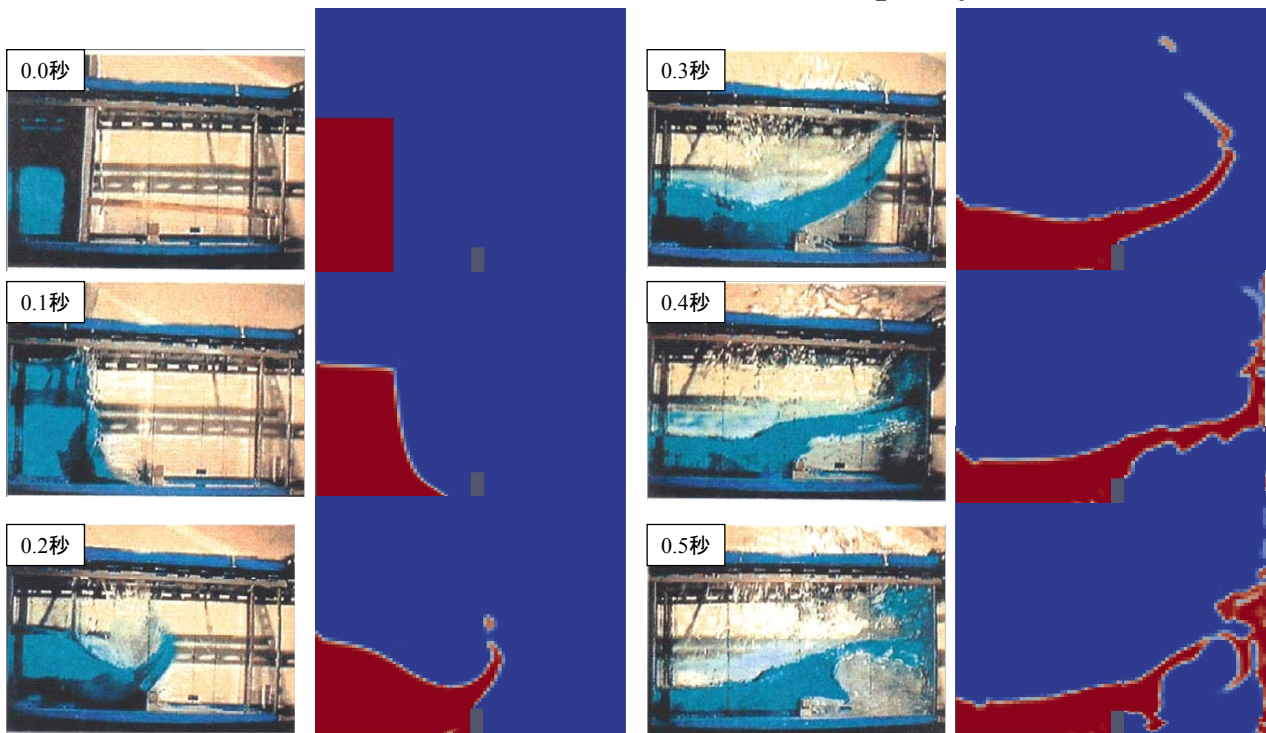
4. 計算結果:越流堰あり(2次元) RAS realizabeKE モデル番号(21)



2012.2.4

45/64

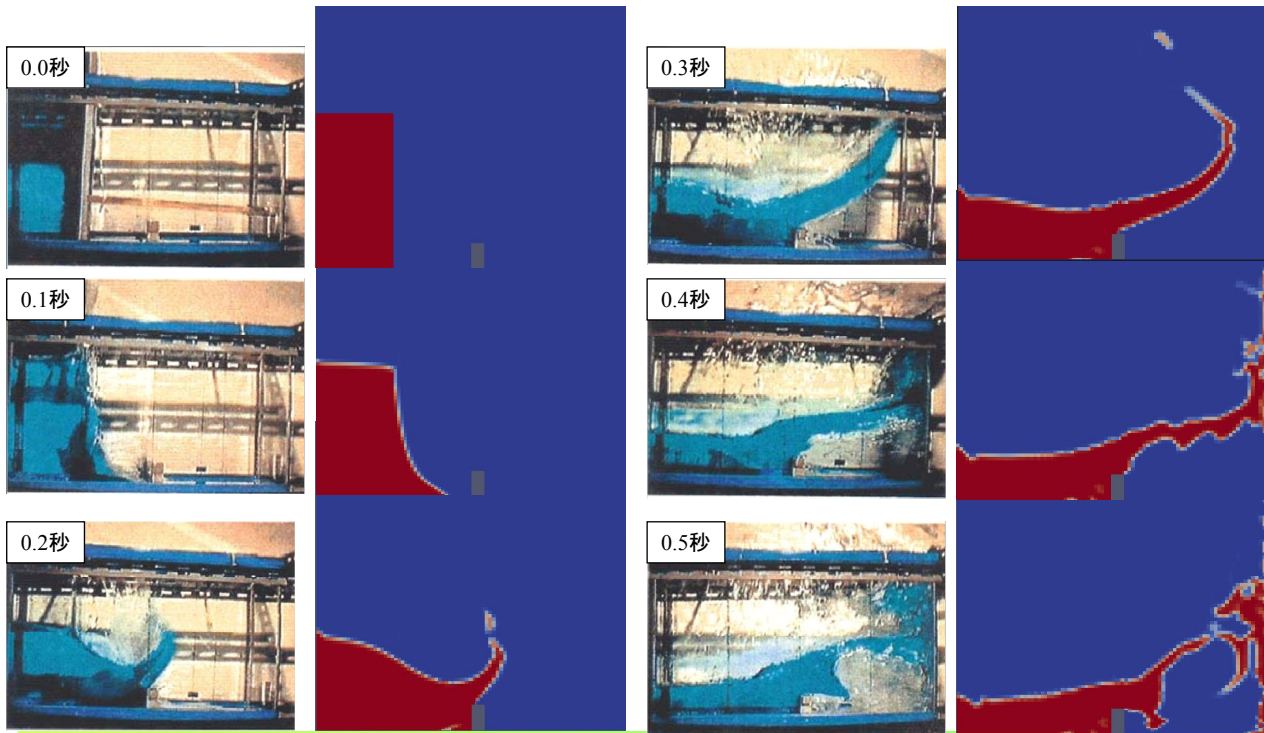
4. 計算結果:越流堰あり(2次元) LES oneEqEddy モデル番号(22)



2012.2.4

46/64

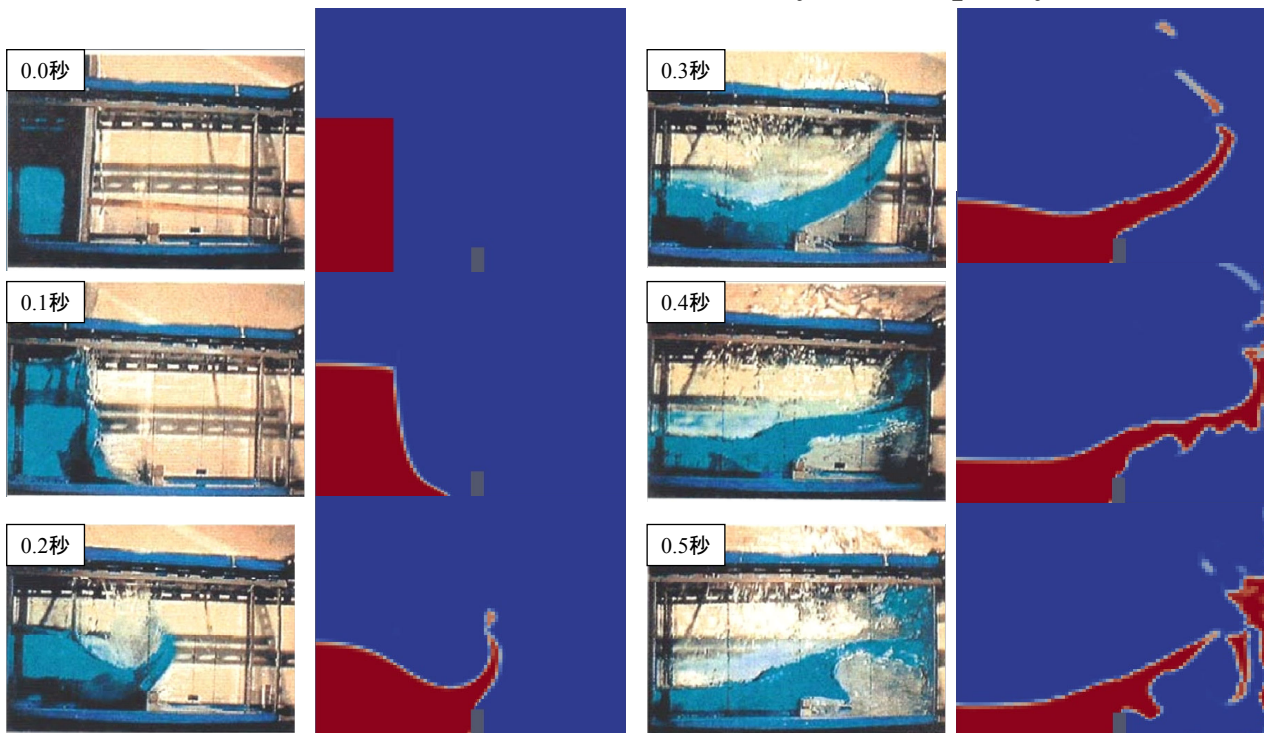
4. 計算結果:越流堰あり(2次元) LES Smagorinsky モデル番号(23)



2012.2.4

47/64

4. 計算結果:越流堰あり(2次元) LES dynOneEqEddyモデル番号(24)

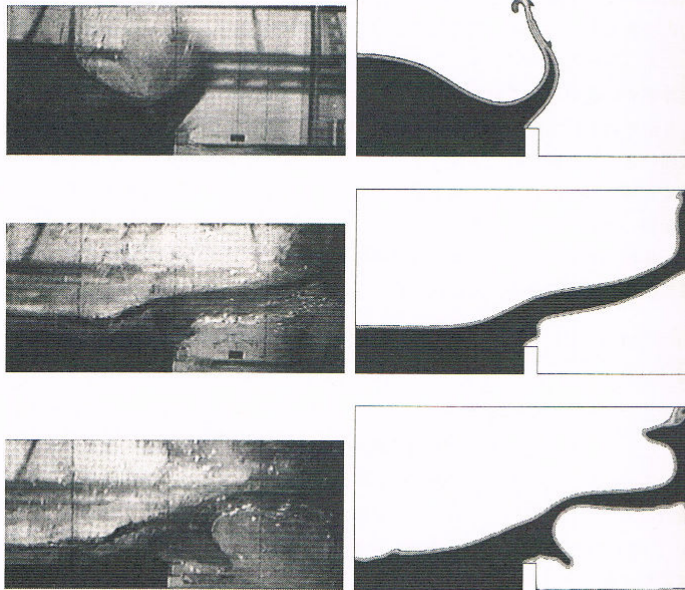


2012.2.4

48/64

4. 越流堰あり(2次元)

382 第12章 その他の問題



コンピュータによる
流体力学より

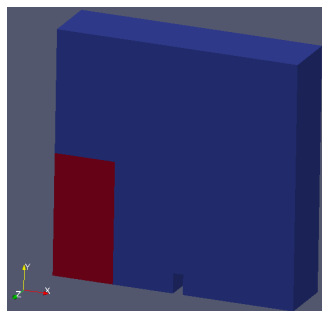
図 12.5：障害物を越える水柱の崩壊に関する実験結果の可視化（左）と数値予測（右）との比較（実験は Koshizuka et al. (1995)、数値予測は Muzaferija & Perić (1997)）。

2012.2.4

49/64

4. 計算結果

越流堰あり(3次元)



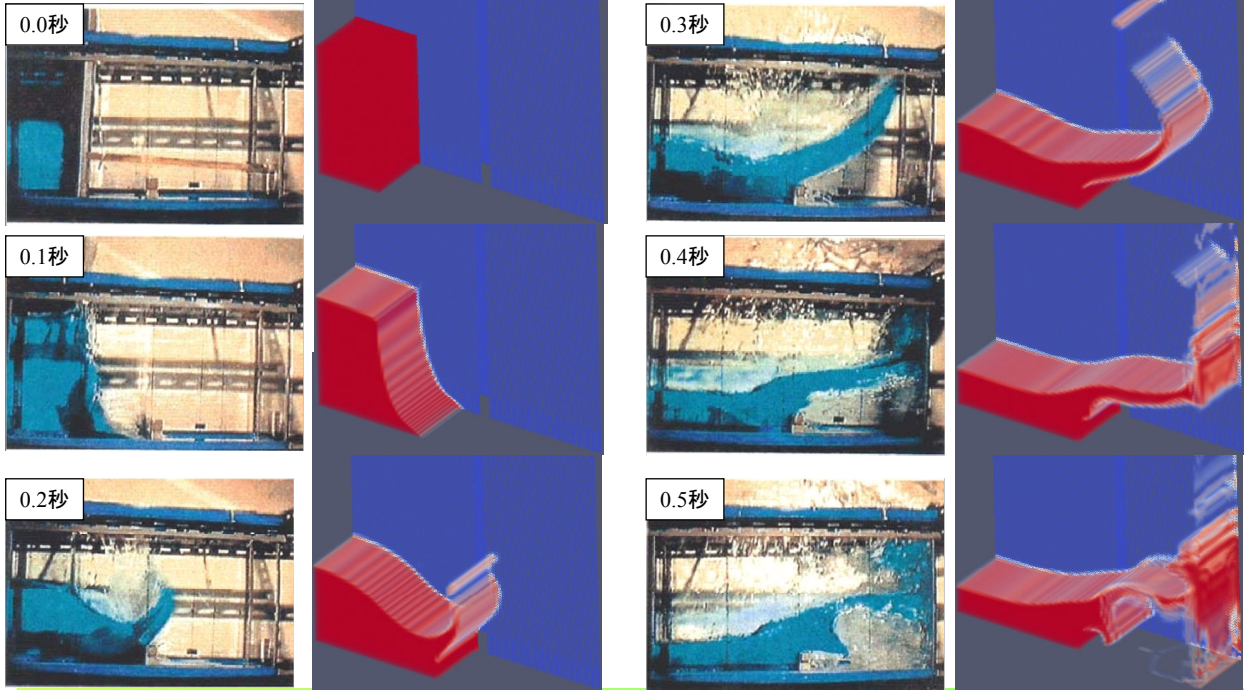
2012.2.4

50/64

4. 計算結果:越流堰あり(3次元) laminar

モデル番号(25)

越塚らの実験

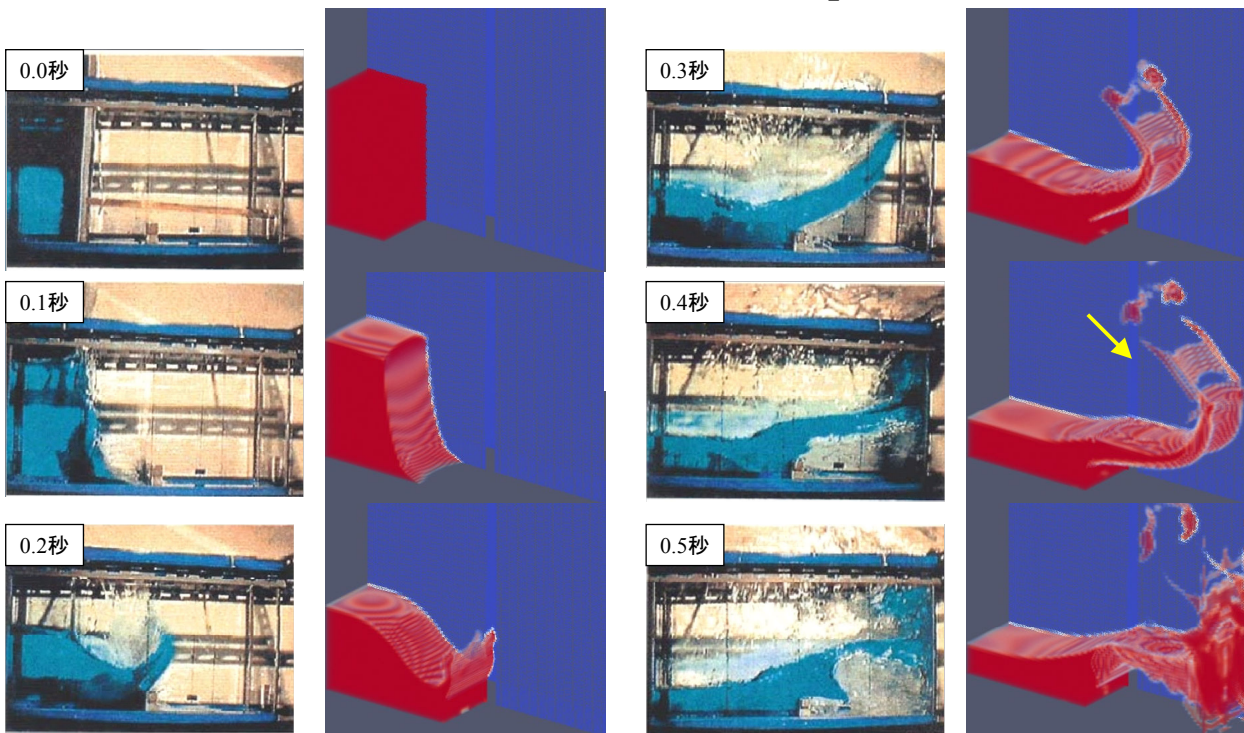


2012.2.4

51/64

4. 計算結果:越流堰あり(3次元) RAS kEpsilon

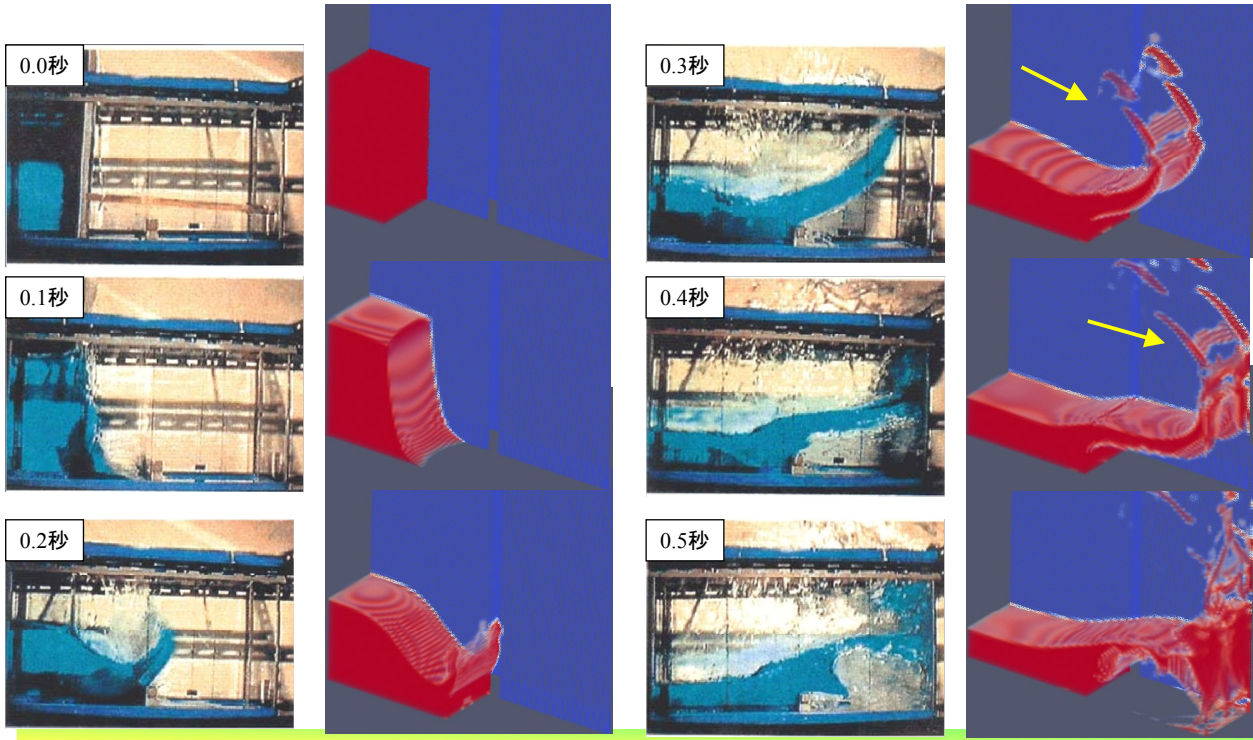
モデル番号(26)



2012.2.4

52/64

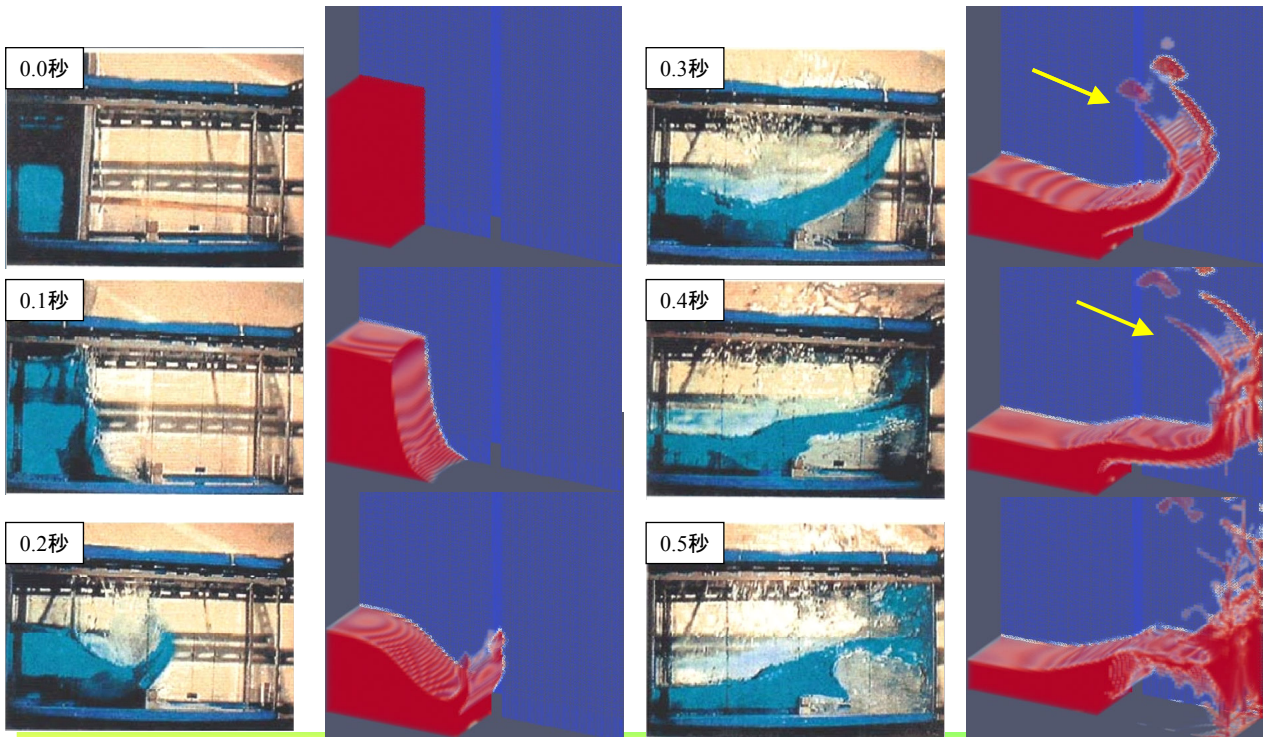
4. 計算結果:越流堰あり(3次元) RAS kOmegaSST モデル番号(27)



2012.2.4

53/64

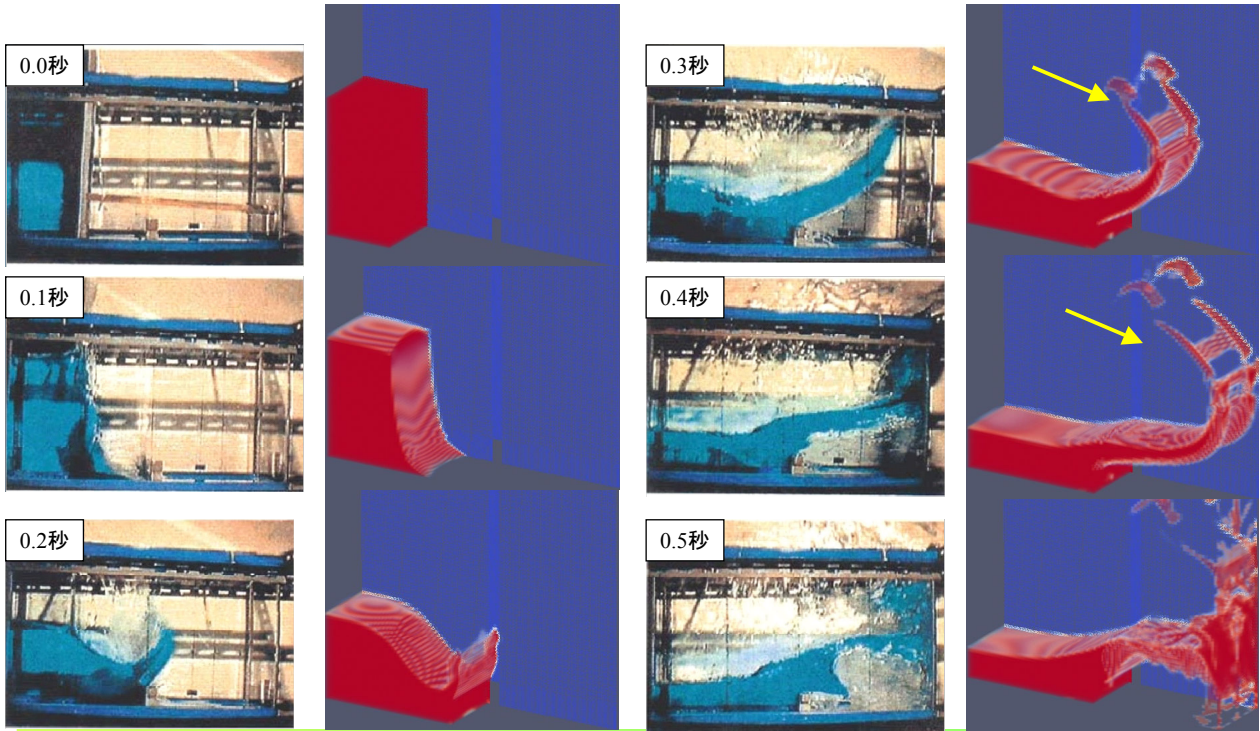
4. 計算結果:越流堰あり(3次元) RAS RNGkEpsilon モデル番号(28)



2012.2.4

54/64

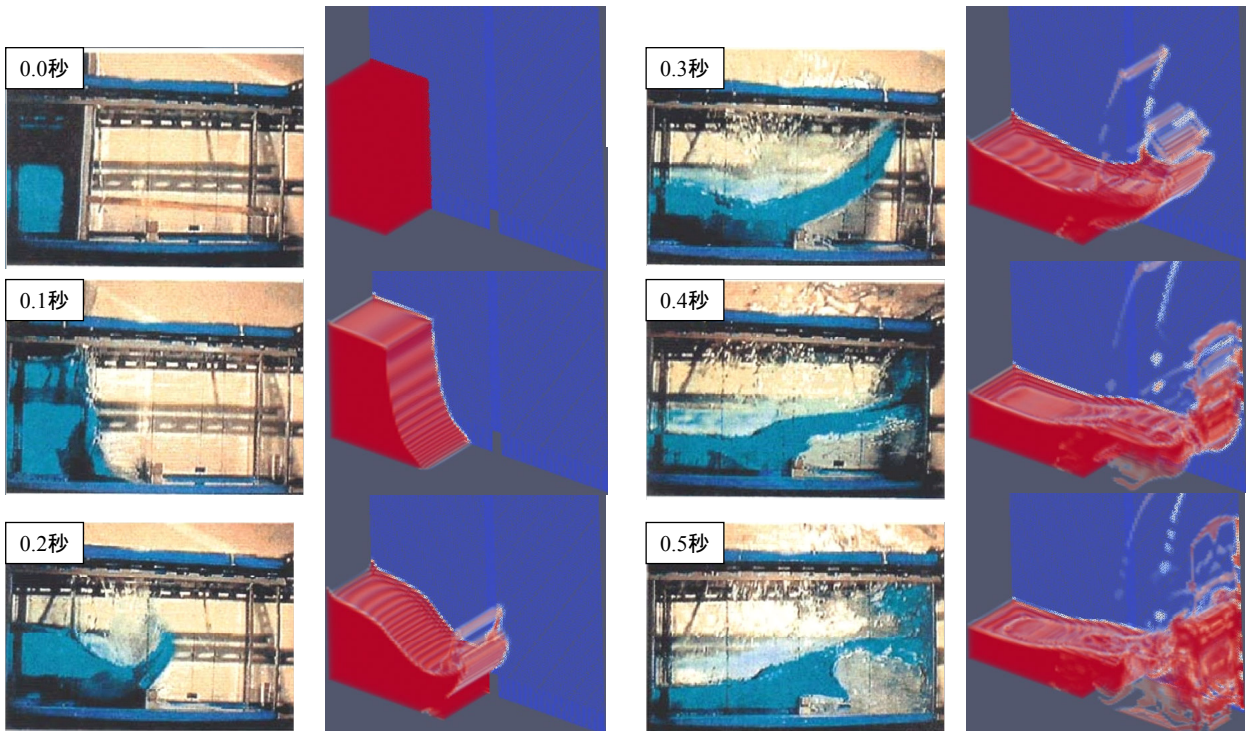
4. 計算結果:越流堰あり(3次元) RAS realizabeKE モデル番号(29)



2012.2.4

55/64

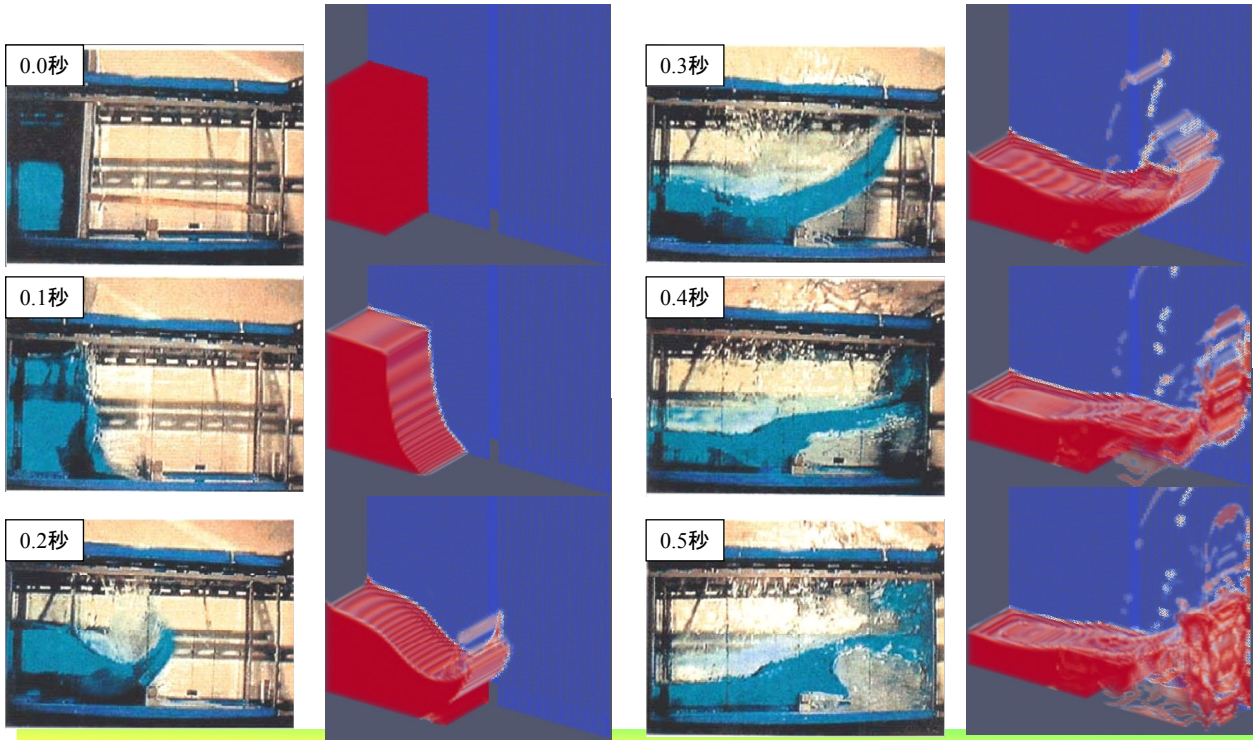
4. 計算結果:越流堰あり(3次元) LES oneEqEddy モデル番号(30)



2012.2.4

56/64

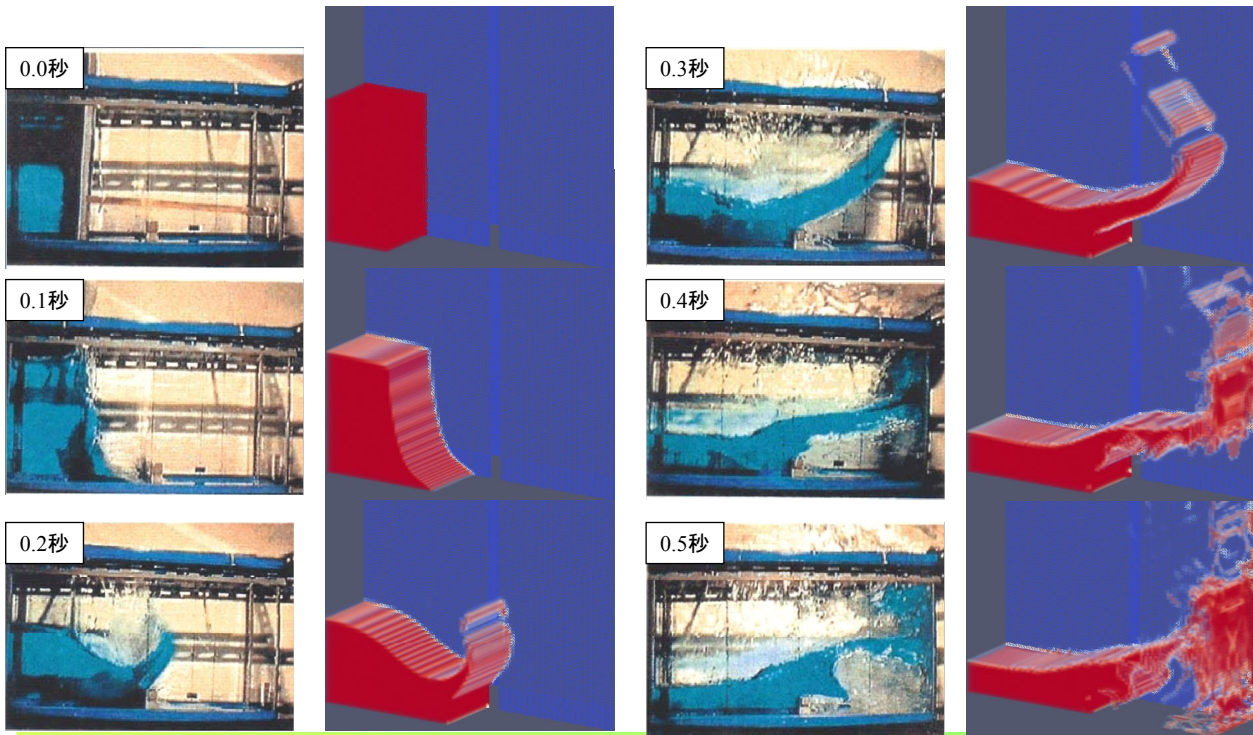
4. 計算結果:越流堰あり(3次元) LES Smagorinsky モデル番号(31)



2012.2.4

57/64

4. 計算結果:越流堰あり(3次元) LES dynOneEqEddyモデル番号(32)



2012.2.4

58/64

5. まとめ

2012.2.4

59/64

5. まとめ

- ・ダムブレイク問題を2,3次元モデル, 層流, RAS, LESで計算し, 公開されている実験と比較した。
- ・水柱崩壊による先端位置の比較では, 実験結果の前後に計算値が分布している。
- ・あたり前であるが, 乱流モデルの選択で解析結果は異なってくる。本計算では越流堰あり, なしに関わらず層流モデルが実験と良く一致している。
- ・3Dモデルでは, 壁面近傍と内部で流体の挙動に差が出ている。水柱崩壊の初期には, RASモデルでは周辺が落ち込むが, LESモデルでは内部から落ち込む。

2012.2.4

60/64

6. 質疑・応答

2012.2.4

61/64

6. 質疑・応答

- ・本計算ではどのようにレイノズル数を見積もるか？
- ・層流, RAS, LESでメッシュを同じにして解析したが, 適切なメッシュ分割はどの程度が良いか？
- ・3Dモデルでは, RAS, LESで水柱崩壊の初期に壁近傍, 内部領域で挙動が逆転するがこれはなぜか？

2012.2.4

62/64

7. その他

2012.2.4

63/64

7. その他

・解析サンプルモデル

スライド13の表に示した(17), (18), (22), (25), (26), (30)のモデルについてアップしました。SM_sample_model.tarに圧縮してあります。

計算するには端末でsh dambreak.shと打ちます。

・解析結果アニメーション

全ての計算結果をgif形式のアニメーションにしてあります。

2012.2.4

64/64