第 III 編

2次元水槽水理試験のシミュレーション解析

1. 概要

第 II 編に示した水理試験を対象に,数値シミュレーション解析を実施し,解析手法の適用性を 確認した.

深海域で発生した津波が沿岸域に到達するまでの解析は、非常に広い海域を対象とするため、 水理実験による再現が困難であり、数値解析により解析するのが一般的である.そのため、津波 伝播を解析する数値シミュレーションモデルについて様々な検討がなされ、高精度で現象を再現 する技術が確立している.特に、波源から沿岸域までの解析には、非線形浅水モデルが一般に適 用され、津波の伝播を精度良く解析できることが示されている.また、海岸線に近づくと水深が 浅くなり、波の分散性により分裂波が生じるが、これについても非線形浅水分散波モデルにより、 +分な精度で解析できることが知られている.

一方,沿岸域の構造物周辺での津波の挙動は複雑であり,これまで数値解析による解析は困難 であった.近年,コンピュータ技術の発展により,複雑な流れ場を解析する様々な解析モデルが 開発され,実用化しつつある.

ここでは、水面変動を伴う流れ場を解析可能な手法の1つである、VOF 法(Volume of Fluid Method)を用いた解析ツールを用いて水理試験の再現解析を実施し、その適用範囲を確認して解 析手法を整備する.解析コードとして一般に市販されている STAR-CD(CD-adapco 社)および オープンソフトウェアである OpenFOAM を適用した.これらは、連続の式及び Navier-Stokes 方程式を基礎式とし、界面捕捉法に VOF 法を用いている数値流体解析コードである.

2. 解析方法

第 II 編で実施した水理試験結果のシミュレーション解析を実施した.解析コードには STAR-CD および OpenFOAM (ver 2.4.x)を使用した.両者はともに連続式及び Navier-Stokes 方程式を基礎方程式とした 3 次元数値流体解析コードであり,離散化手法として有限体積法を採 用している.どちらも流体解析のための解析ソルバを複数有しているが,本解析では気液二相流 を対象とした解析ソルバを用いた.気液界面の補足手法はどちらも VOF 法を採用している.

解析条件の一覧を表 III.2-1 に,解析に用いた空気・水の物性値を表 III.2-2 に示す.解析格子 間隔,境界条件,乱流モデルは STAR-CD と OpenFOAM で共通とした.ただし,解析時間間隔 については STAR-CD では 0.001 s の固定としたが, OpenFOAM ではこの場合,計算が不安定に なる解析ケースがあった.そのため,クーラン数が 0.5 を超えないよう解析時間間隔を自動調整 するよう設定した(解析時間間隔の最大値は 0.001 s に設定した).堤体周辺の解析格子を,図 III.2-1,図 III.2-2 に示す.

	STAR-CD	OpenFOAM			
++-711	気液二相流についての				
基礎力住式	Navier-Stokes 方程式および連続式				
気液界面の補足手法	VOF 法				
解析格子間隔	2.5cm	$0.5{\sim}2.5{ m cm}$			
解析時間間隔	0.001	自動調整			
	0.001s	(最大クーラン数 0.5)			
境界条件	底面部:Non-slip 条件	底面部:Non-slip 条件			
	壁面部:Slip 条件	壁面部:Non-slip 条件			
	上端:開境界条件	上端:開境界条件			
	沖合造波位置(WG3):	沖合造波位置(WG3):			
	造波境界条件	造波境界条件			
	下流端:Non-slip 条件	下流端:開境界条件			
造波方法	沖合造波位置(WG3)に水理試験で計測された				
	水位および流速の時系列データを入力				
乱流モデル	k-εモデル				

表 III.2-1 解析条件

表 III.2-2 空気及び水の物性値

物性	空気	水		
密度 _ρ	1.205 kg/m 3	1000 kg/m ³		
動粘性係数v	$1.5\! imes\!10^{ ext{-5}}\mathrm{m^{2}\!/s}$	1.0×10 ⁻⁶ m ² /s		



図 III.2-2 堤体周辺の解析格子(単純勾配, OpenFOAM)

3. 解析条件

表 III.3-1,表 III.3-2 に解析ケース一覧を示す.2次元水理試験に適用した波のうち,各周期特 性のうちもっとも波高の大きい W13, W24, W34 を対象とした.海底地形を単純勾配と鉛直護岸 の2種類,堤体の設置位置を3種類,堤体高さを越流と非越流の2種類とし,通過波検定試験で は6ケース,波力/波圧試験では36ケースを対象に,STAR-CD および OpenFOAM のそれぞれ で解析を実施した.解析では,2次元水理試験で設定した WG3の計測地点を造波境界として実験 水槽をモデル化した.造波境界では,実験で計測された WG3の水位η03および流速 V03の時系 列を入力することで造波を行った.

解析結果は,水理試験の計測位置での水位,流速,圧力を時系列で出力し,水理試験と同様の 結果処理を行った.

No	ケース名	地形	波形	
1	S-W13-0-0	単純勾配	W13	
2	S-W24-0-0	S	W24	
3	S-W34-0-0		W34	
4	F-W13-0-0	直立護岸	W13	
5	F-W24-0-0	F	W24	
6	F-W34-0-0		W34	

表 III.3-1 シミュレーション解析ケース(通過波検定試験)

表 III.3-2 シミュレーション解析ケース(波力/波圧試験)

No	ケース名	地形	波形	堤体高	[m]	堤体位置
1	S-W13-L-1		W13	L	0.33	
2	S-W13-H-1		W13	Н	-	
3	S-W24-L-1		W24	L	0.28	
4	S-W24-H-1		W24	Н	-	0m
5	S-W34-L-1		W34	L	0.27	
6	S-W34-H-1		W34	Н	-	
7	S-W13-L-2		W13	L	0.33	
8	S-W13-H-2		W13	Н	_	
9	S-W24-L-2	単純勾配	W24	L	0.28	0.625m
10	S-W24-H-2	S	W24	Н	_	
11	S-W34-L-2		W34	L	0.27	
12	S-W34-H-2		W34	Н	_	
13	S-W13-L-3		W13	L	0.28	
14	S-W13-H-3		W13	Н	-	
15	S-W24-L-3		W24	L	0.28	1.25m
16	S-W24-H-3		W24	Н	_	
17	S-W34-L-3		W34	L	0.27	
18	S-W34-H-3		W34	Н	_	
19	F-W13-L-1		W13	L	0.33	
20	F-W13-H-1		W13	Н	-	
21	F-W24-L-1		W24	L	0.28	
22	F-W24-H-1		W24	Н	_	0m
23	F-W34-L-1		W34		0.27	
24	F-W34-H-1		W34	Н	_	
25	F-W13-L-1		W13	L	0.33	
26	F-W13-H-1		W13	Н	-	
27	F-W24-L-1	直立護岸	W24	L	0.28	0.625m
28	F-W24-H-1	F	W24	Н	-	
29	F-W34-L-1		W34	L	0.27	
30	F-W34-H-1		W34	Н	-	
31	F-W13-L-1		W13	L	0.28	
32	F-W13-H-1		W13	Н	-	
33	F-W24-L-1		W24	L	0.28	1.25m
34	F-W24-H-1		W24	Н	-	
35	F-W34-L-1		W34	L	0.27	
36	F-W34-H-1		W34	Н	-	

4. 解析結果

4.1. 通過波検定試験

通過波検定試験に対する解析結果と実験結果の比較を、単純勾配について図 III.4.1-1,直立護 岸について図 III.4.1-2 に示す.ここで実験結果の流速は、P.08(V08)はプロペラ流速計、P.09

(V09), P.10 (V10) は底面流速計による計測結果を示した. STAR-CD, OpenFOAM による 各計測点での解析結果を,単純勾配について図 III.4.1-3,図 III.4.1-4 に,直立護岸について図 III.4.1-5,図 III.4.1-6 に示す.

沖合の水位・流速については全ケースで解析と実験は良く一致している.一方,陸上部(P.08 ~P.10 位置)の水位時系列では,特に直立護岸において,解析結果は水理試験の結果に対し若干 立ち上がりが遅れている.直立護岸では,汀線において護岸の直角部分を越える.ここでは,流 れの向きが局所的に変わるため,これを精度良く再現するには詳細な計算格子が必要となる.特 に津波が浸入する波形の先端部分では水位が小さいため,この流況の影響が大きく,護岸を越流 する際の再現精度が低下して到達時間の遅れが生じていると考えられる.ただし,最大波力を再 現する上では,越流水深がある程度大きくなった時点での再現性が重要であり,その場合には上 述の局所的な流況の再現性の影響は小さいと考えられる.

一方で、流速の立ち上がりについては、陸上部でも水理試験と数値解析の結果は一致している. ただし、上述したように水位については数値解析に時間遅れが生じていることから、これは、水 理試験における流速の計測において、ドライな状態から瞬間的に大きな流速が発生するため、流 速計の反応速度に若干の遅れが生じているためと考えられる.すなわち、水理試験の結果に、波 形先端部の流速を計測できず時間遅れが生じていると考えられる.同様の理由で、流速の解析結 果においては、陸上部の波形先端部で水理試験の結果よりも大きな流速が生じている.水理試験 では、ある程度の水隗が底面電磁流速計の上に被らないと流速を正しく計測できない.波形先端 部の薄い水脈の状態においては、特に大きな流速が生じていると考えられ、数値解析ではこれを 解析できるが、水理試験ではこれを計測できていないと考えられる.

直立護岸の STAR-CD の結果では, 汀線位置(V08)において流速を小さく評価する傾向にあ る.上述したように汀線位置では, 流速を底面近傍で取得しているため, 護岸角部での局所的な 流向の変動の影響を受ける.したがって, 流速算出のポスト処理の仕方や流速算出点がわずかに 異なるだけで流速の値が異なる.堤体を対象にした最大波力の評価においてはその影響は小さい が,水深係数とフルード数の関係を対象とした場合, フルード数を小さく評価すると考えられる ため,注意が必要である.

















III-4-10





























図 III.4.1-6 防潮堤設置位置における浸水深と流速の時系列 (直立護岸, W13, OpenFOAM)





4.2. 波力/波圧試験

波力/波圧試験に対する解析と実験の波力時系列結果の比較を,図 III.4.2-1~図 III.4.2-4 に示す. 堤体高さLは越流時を,堤体高さHは非越時の結果を表す.ここで解析結果の波力は,数値解析 において水理試験の圧力計測位置と同じ位置での圧力を時系列で算出し,水理試験と同じ手法で 波圧を積分することにより求めている.通過波の結果と同様に,波力の立ち上がりに若干の遅れ があるものの,STAR-CD,OpenFOAMともに実験結果を精度良く再現していることが分かる.

時系列を詳細に観察すると、セカンドピークの値が、試験結果よりも数値解析の方が明瞭に現 れる傾向にある.セカンドピークは水隗が落下するときに生じるため、渦を伴った非常に複雑な 流況となっている.この乱れにより、エネルギーの減衰が生じると考えられるが、数値解析では 乱れの再現に限界があり、複雑な流況によるエネルギー減衰を正確に再現できないため、セカン ドピークである短時間の波力が試験結果よりも大きめに評価されていると考えられる.ただしこ れは、安全側の結果を与えることになる.同様のことが、波の到達時に生じる衝撃的な波力(フ ァーストピーク)についても言え、数値解析の方が衝撃力としては大きな値となる傾向にある. ただし、ファーストピークの場合は乱れによるエネルギー減衰に加え、衝突時の複雑な水面形状 の再現性によっても波力評価の精度が左右されるため、数値解析の結果よりも水理試験の結果の 方が大きくなるケースもある.これらの精度向上のためには、より詳細な計算格子により解析す ることが考えられるが、解析時間を考慮すると、ここに示した結果は概略安全側の結果となって おり、実務上十分な精度の再現性を有していると考えられる.

越流時と非越流時を比較すると、同じ入射波に対し、同程度の精度で水理試験結果を再現している.このことから、堰状の堤体を越流する現象も数値解析により精度良く再現できていると考えられる.

他のケースに比較して,直立護岸の非越流(堤体高さ H),堤体位置 1.25m のケースで,セカ ンドピーク以降の準定常状態の時間変動の再現精度が若干低くなっている.このケースでは,来 襲した津波が堤体で反射した後,汀線と堤体の間に定在波状の水面の揺れが生じる.この波は打 ち上げられ水隗が落下することによる水面擾乱によって生じていると考えられるが,上述のセカ ンドピークと同様,乱れを伴う複雑な流況のため,再現精度が低下していると考えられる.

STAR-CD, OpenFOAM による各計測点での解析結果をそれぞれ,図 III.4.2-5~図 III.4.2-8, 図 III.4.2-9~図 III.4.2-12 に示す. 津波到達時において,底面付近に大きな圧力が集中して発生 することによる衝撃的な波力ピーク,水隗の落下により短時間に圧力が増加する波力ピーク,そ の後の静水圧分布性状を示す準定常的圧力ピークのそれぞれが,数値解析においても再現されて いることが分かる.

STAR-CD と OpenFOAM のそれぞれの解析結果を元に算出した水深係数を図 III.4.2-13,図 III.4.2-14 に示す.また,水理試験の結果から,再現解析の対象としたケースのみの結果を抜粋したものを図 III.4.2-15 に示す.なおこれらの水深係数は,通過波の η_{max} を基準として算出したものである.図中には、 $\alpha = 1 + \sqrt{2}$ Fr の評価式を示した.STAR-CD と OpenFOAM の結果を比較すると、単純勾配の結果については両者は概ね一致しているが、直立護岸の結果は OpenFOAM の方が大きめの結果となっている.これは主に、前述したセカンドピークの波力が OpenFOAM では卓越する傾向にあるためと考えられる.両者を水理試験の結果と比較すると、STAR-CD の結果は試

験結果と概ね一致しており, OpenFOAM の結果は, 前述したように単純勾配では概ね一致してい るが, 直立護岸において OpenFOAM が若干波力を大きめに評価していることが分かる. 特に直立 護岸の場合, 汀線で水位が上昇し, そこから射流状に陸上部に大きな流速を伴って遡上する. こ の場合, サードピークよりもセカンドピークが卓越するため, 本解析の結果から数値解析では波 力を大きめに評価する傾向にあることが分かる. このような短時間に流況が複雑に変化する減少 を再現する場合には, 格子サイズや解析モデルに留意する必要がある.

堤体の高さが低く越流する場合について,非越流時に対する越流時の波圧の低減率を図 III.4.2·16 に示す.水理試験の結果と同様に,数値解析結果は解析値を概ね上限としてこれよりも 小さくなり,解析値に対し水理試験と同様の結果になっていることが分かる.このことから,上 述したように数値解析結果は試験結果を若干大きめに評価する傾向にあるが,越流時と非越流時 に対して同程度の精度を有していると考えられる.


























図 III.4.2-5 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ L, 設置位置 0m, W13, STAR-CD)



図 III.4.2-5 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ L, 設置位置 0m, W24, STAR-CD)



図 III.4.2-5 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ L, 設置位置 0m, W34, STAR-CD)



図 III.4.2-5 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ L, 設置位置 0.625m, W13, STAR-CD)



図 III.4.2-5 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ L, 設置位置 0.625m, W24, STAR-CD)



図 III.4.2-5 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ L, 設置位置 0.625m, W34, STAR-CD)



図 III.4.2-5 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ L, 設置位置 1.25m, W13, STAR-CD)



図 III.4.2-5 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ L, 設置位置 1.25m, W24, STAR-CD)



図 III.4.2-5 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ L, 設置位置 1.25m, W34, STAR-CD)



図 III.4.2-6 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ H, 設置位置 0m, W13, STAR-CD)



図 III.4.2-6 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ H, 設置位置 0m, W24, STAR-CD)



図 III.4.2-6 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ H, 設置位置 0m, W34, STAR-CD)



図 III.4.2-6 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ H, 設置位置 0.625m, W13, STAR-CD)



図 III.4.2-6 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ H, 設置位置 0.625m, W24, STAR-CD)



図 III.4.2-6 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ H, 設置位置 0.625m, W34, STAR-CD)



図 III.4.2-6 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さH, 設置位置 1.25m, W13, STAR-CD)



図 III.4.2-6 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ H, 設置位置 1.25m, W24, STAR-CD)



図 III.4.2-6 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さH, 設置位置 1.25m, W34, STAR-CD)



図 III.4.2-7 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ L, 設置位置 0m, W13, STAR-CD)



図 III.4.2-7 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ L, 設置位置 0m, W24, STAR-CD)



図 III.4.2-7 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ L, 設置位置 0m, W34, STAR-CD)



図 III.4.2-7 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ L, 設置位置 0.625m, W13, STAR-CD)



図 III.4.2-7 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸,堤体高さL,設置位置 0.625m, W24, STAR-CD)



図 III.4.2-7 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ L, 設置位置 0.625m, W34, STAR-CD)


図 III.4.2-7 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ L, 設置位置 1.25m, W13, STAR-CD)



図 III.4.2-7 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ L, 設置位置 1.25m, W24, STAR-CD)



図 III.4.2-7 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ L, 設置位置 1.25m, W34, STAR-CD)



図 III.4.2-8 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ H, 設置位置 0m, W13, STAR-CD)



図 III.4.2-8 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ H, 設置位置 0m, W24, STAR-CD)



図 III.4.2-8 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ H, 設置位置 0m, W34, STAR-CD)



図 III.4.2-8 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ H, 設置位置 0.625m, W13, STAR-CD)



図 III.4.2-8 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ H, 設置位置 0.625m, W24, STAR-CD)



図 III.4.2-8 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ H, 設置位置 0.625m, W34, STAR-CD)



図 III.4.2-8 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸,堤体高さH,設置位置 1.25m, W13, STAR-CD)



図 III.4.2-8 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸,堤体高さH,設置位置 1.25m, W24, STAR-CD)



図 III.4.2-8 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸,堤体高さH,設置位置 1.25m, W34, STAR-CD)



図 III.4.2-9 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さL, 設置位置 0m, W13, OpenFOAM)



図 III.4.2-9 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さ L, 設置位置 0m, W24, OpenFOAM)



図 III.4.2-9 波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配, 堤体高さL, 設置位置 0m, W34, OpenFOAM)



図 III.4.2-9 波力/波圧試験の解析結果(単純勾配,堤体高さL,設置位置 0.625m, W13, OpenFOAM)



図 III.4.2-9 波力/波圧試験の解析結果(単純勾配,堤体高さL,設置位置 0.625m, W24, OpenFOAM)



図 III.4.2-9 波力/波圧試験の解析結果(単純勾配, 堤体高さL, 設置位置 0.625m, W34, OpenFOAM)



図 III.4.2-9 波力/波圧試験の解析結果(単純勾配,堤体高さL,設置位置 1.25m, W13, OpenFOAM)



図 III.4.2-9 波力/波圧試験の解析結果(単純勾配,堤体高さL,設置位置 1.25m, W24, OpenFOAM)



図 III.4.2-9 波力/波圧試験の解析結果(単純勾配,堤体高さL,設置位置 1.25m, W34, OpenFOAM)



図III.4.2-10波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配,堤体高さH,設置位置0m,W13, OpenFOAM)



図III.4.2-10波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配,堤体高さH,設置位置0m,W24, OpenFOAM)



図III.4.2-10波力/波圧試験の解析結果 (単純勾配,堤体高さH,設置位置0m,W34, OpenFOAM)



図III.4.2-10波力/波圧試験の解析結果(単純勾配,堤体高さH,設置位置0.625m,W13,OpenFOAM)



図III.4.2-10波力/波圧試験の解析結果(単純勾配,堤体高さH,設置位置0.625m,W24,OpenFOAM)



図III.4.2-10波力/波圧試験の解析結果(単純勾配,堤体高さH,設置位置0.625m,W34,OpenFOAM)



図 III.4.2-10 波力/波圧試験の解析結果(単純勾配,堤体高さH,設置位置1.25m,W13, OpenFOAM)



図 III.4.2-10 波力/波圧試験の解析結果(単純勾配,堤体高さH,設置位置1.25m, W24, OpenFOAM)



図III.4.2-10波力/波圧試験の解析結果(単純勾配,堤体高さH,設置位置1.25m,W34, OpenFOAM)



図 III.4.2-11 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さL, 設置位置 0m, W13, OpenFOAM)



図 III.4.2-11 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸, 堤体高さ L, 設置位置 0m, W24, OpenFOAM)



図 III.4.2-11 波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸,堤体高さL,設置位置 0m, W34, OpenFOAM)



図 III.4.2-11 波力/波圧試験の解析結果(直立護岸,堤体高さL,設置位置 0.625m,W13,OpenFOAM)



図 III.4.2-11 波力/波圧試験の解析結果(直立護岸,堤体高さL,設置位置 0.625m,W24,OpenFOAM)



図 III.4.2-11 波力/波圧試験の解析結果(直立護岸,堤体高さL,設置位置 0.625m,W34,OpenFOAM)


図 III.4.2-11 波力/波圧試験の解析結果(直立護岸,堤体高さL,設置位置 1.25m, W13, OpenFOAM)



図 III.4.2-11 波力/波圧試験の解析結果(直立護岸,堤体高さL,設置位置 1.25m, W24, OpenFOAM)



図 III.4.2-11 波力/波圧試験の解析結果(直立護岸,堤体高さL,設置位置 1.25m, W34, OpenFOAM)



図III.4.2-12波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸,堤体高さH,設置位置0m,W13, OpenFOAM)



図III.4.2-12波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸,堤体高さH,設置位置0m,W24, OpenFOAM)



図III.4.2-12波力/波圧試験の解析結果 (直立護岸,堤体高さH,設置位置0m,W34, OpenFOAM)



図III.4.2-12波力/波圧試験の解析結果(直立護岸,堤体高さH,設置位置0.625m,W13,OpenFOAM)



図III.4.2-12波力/波圧試験の解析結果(直立護岸,堤体高さH,設置位置0.625m,W24,OpenFOAM)



図III.4.2-12波力/波圧試験の解析結果(直立護岸,堤体高さH,設置位置0.625m,W34,OpenFOAM)



図 III.4.2-12 波力/波圧試験の解析結果(直立護岸,堤体高さH,設置位置1.25m,W13, OpenFOAM)



図 III.4.2-12 波力/波圧試験の解析結果(直立護岸,堤体高さH,設置位置1.25m, W24, OpenFOAM)



図III.4.2-12波力/波圧試験の解析結果(直立護岸,堤体高さH,設置位置1.25m,W34, OpenFOAM)



図 III.4.2-13 水深係数の算出結果 (STAR-CD)



図 III.4.2-14 水深係数の算出結果(OpenFOAM)



図 III.4.2-15 水深係数の算出結果(水理試験結果の抜粋)







(b)OpenFOAM 図 III.4.2-16 越流による波圧の低減率