土木学会論文集B2（海岸工学）
Vol. B2-65，No.1，2009，1306-1310

高波による浸水の想定手法

A Method to Predict Flooding Caused by High Waves

加藤史訓[1]・諏訪義雄[2]・殿最浩司[3]・真期俊行[4]・志方建仁[5]

Fuminori KATO, Yoshio SUWA, Koji TONOMO, Toshiyuki MAKI and Takemi SHIKATA

The purpose of this study is to establish a method to predict flooding caused by high waves. The method includes an estimation of the highest waves and storm surges generated by a depression and a typhoon, a numerical simulation on flooding caused by wave overtopping, and an effective output of the flood expectation. The method was examined through a case study on the flooding in the Shimonikawa Coast in February 2008 by considering short-term wave overtopping rates.

1. はじめに

2008年2月の富山湾での高波災害のように，避難が必要になるような越波が生じる恐れがある地域では，適切な避難を促すため高波による浸水を事前に想定する必要がある．関係省庁が発行した津波・高潮ハザードマップマニュアル（以下，「マニュアル」という）では，高潮による浸水の想定手法がまとめられているが，高波が浸水の原因となる場合における波浪の想定方法など，高波災害特有の危険性を想定する上で不足している点がある．そこで，高波による浸水想定の手順を整理し，2008年2月の高波で浸水被害が生じた下新川海岸を対象としたケーススタディにより，その妥当性について検討した．

2. 浸水想定の手順

始めに，高波による浸水想定の手順を図-1のように整理した．浸水想定においては，資料の収集・整理により，対象とする台風や低気圧などの外力条件を設定するとともに，海底や陸上の地形データを作成する．次に，過去の顕著な高波事例を対象に波浪や高潮の再現計算を行い，モデルの再現性を確認する．そして，再現性が確認されたモデルを用いて，想定最大規模の波浪や高潮を予測し，それによる浸水想定の結果を表示する．

外力条件の設定においては，最悪の浸水状況を想定するため，想定される最大規模の台風および低気圧により引き起こされる波浪および潮位偏差を算定する必要がある．台風による想定最大規模の波浪等は，マニュアルに従って，既往最大規模（あるいは想定最大規模）の台風が最悪の経路（波高や潮位偏差が最大となる経路）を移動することを仮定して算定できる．一方，低気圧については，周辺の気圧分布の影響も受けた風の場によって波浪が決定されることから，台風と同様に取り扱うことができない．一つの方法として，対象海岸で既往最大波高が観測された時の低気圧による強風が長時間継続するものと仮定して，想定最大規模の波浪および高潮を推算する方法が考えられる．

浸水計算では，越波流量を境界条件とする平面二次元不定流モデルを使用できるが，実際の越波は平均越波流量で表されるような平均的なものではなく，波群等により間欠的に生じている．そこで，シングルサーメーション法（高山ら，1989）で不規則波の水位変動を算定し，それを基に堰の越流公式を準用する方法（平石ら，1996）により越流量の時系列変化（短時間越波流量）を算定し，

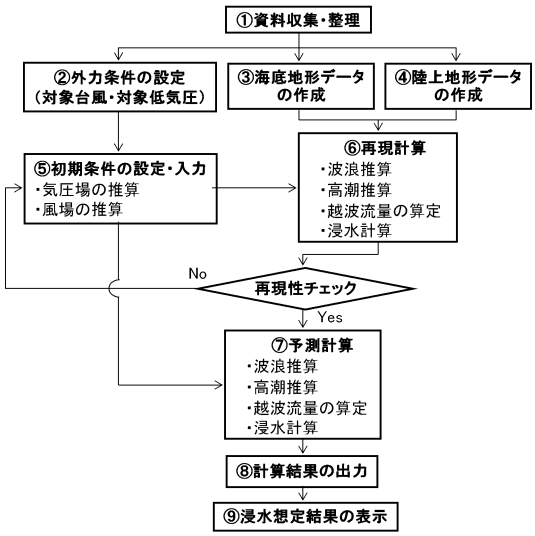


図-1　高波浸水想定の手順

1　正会員　工修　国土交通省国土技術政策総合研究所
河川研究部海岸研究室　主任研究官
2　正会員　国土交通省国土技術政策総合研究所
河川研究部　海岸研究室長
3　正会員　博(工)　(株) ニュージェック港湾・海岸グループ
4　(株) ニュージェック港湾・海岸グループ
5　工修　(株) ニュージェック港湾・海岸グループ

それを浸水計算に用いることが考えられる．また，排水工等により越波で流入した海水の排水が見込める場合には，その効果を考慮して浸水計算を行う．

浸水想定結果の表示では，高潮による浸水と比べて動的な水理現象の危険性を，住民が自分の問題として認識できるようにする必要がある．その方法として，最大浸水深の平面分布だけでなく，浸水深の時間的変化をアニメーションで表示したり，特に高波の発生頻度が低い海岸では，想定される高波による越波や浸水の様子を見慣れた風景の写真に合成することなどが考えられる．また，浸水想定結果の周知には，ハザードマップの作成だけでなく，ハザードマップの作成段階からワークショップなどを通じて、危険性について住民とコミュニケーションを図る必要がある．

なお，浸水想定結果を住民等に説明する上で，想定される浸水がどの頻度の確率で生じるのか把握しておく必要がある．越波には波高とともに周期が影響することから，波高の生起確率だけでなく，関本ら（1999）の方法で波高と周期の結合生起確率を評価することが考えられる．

3. ケーススタディ

（1）対象海岸

図-2に示す富山県下新川海岸を対象に，ケーススタディを行った．この海岸は黒部川河口周辺に位置しており，1970年2月など，寄り回り波によってたびたび災害が発生している．2008年2月24日には，この海岸に設置されている田中観測所（水深12.8m）において波高6.62m，周期13.9秒が観測され，越波による浸水や海岸堤防等の被災が生じている．

（2）既往の高波の推算

田中観測所で高波浪が観測された擾乱と，寄り回り波などの高波が生じたと言われている擾乱を対象に，波浪推算を行った．対象擾乱を**表-1**に示す。

風の場の算出には，台風近傍では台風モデル（Myersの式）を，台風影響範囲よりも遠方の地点や低気圧による高波については傾度風モデルを適用した．算出された風の場を用いて，想定最大規模の波浪をSWANで推算した．地形データは，日本近海についてはJTOPO30などを，下新川海岸近傍ではナローマルチビームで取得された高精度の測量成果を使用した．波浪推算では，日本近海（N20-55°，E120-170°）から下新川海岸近傍まで7領域を設定し，計算格子間隔も各領域の大きさに応じて36kmから50mまで徐々に小さく設定した．

表-1のように，各擾乱の推算値は観測値と概ね一致しており，推算波高はL700201が最大で，8.29mと推算されている．近藤ら（1985）はL700201による輪島の波高を10.14mと推算しているが，今回使用したモデルによる

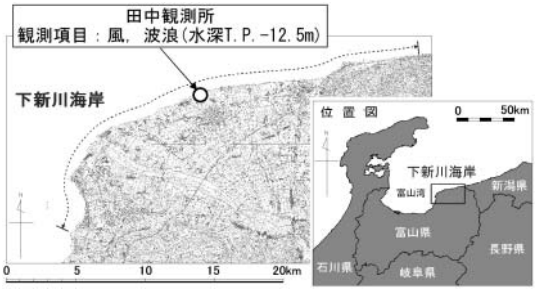


図-2　ケーススタディの対象海岸の位置

表-1　波浪推算を行った擾乱と田中観測所での観測値・推算値

擾乱	ケース名	起時	観測値		推算値	
			$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)
低気圧	L080224	2008.2.24	6.62	13.9	6.51	14.3
	L031220	2003.12.20	5.23	12.0	6.01	13.6
	L910216	1991.2.16	欠測	欠測	6.35	12.1
	L881029	1988.10.29	5.82	11.4	4.11	10.5
	L700201	1970.2.1	観測開始前		8.29	14.1
台風	T0423	2004.10.21	4.46	8.9	4.44	10.3
	T9019	1990.9.20	5.85	11.0	5.81	11.7
	T5915	1959.9.26	観測開始前		3.82	8.5

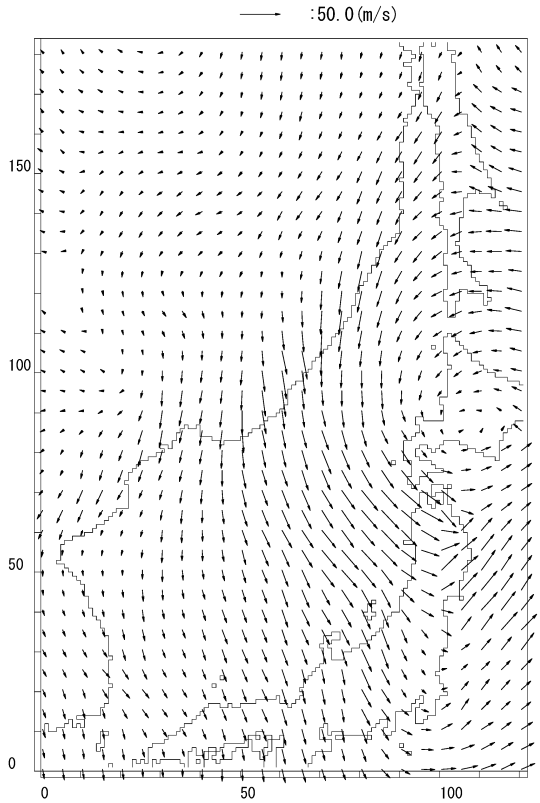


図-3　推算された風速分布（1970年2月1日3時）

輪島での波高（10.05m）はそれとほぼ一致している．

この推算により，L080224をはるかに上回る高波が過去に発生していたことが明らかになった．

（3）想定最大波浪の推算

低気圧による想定最大波浪は，寄り回り波で大きな被害が生じたL700201が波高ピーク時（**図-3**）から停滞するものとして推算した．一方，台風による想定最大波浪は，富山湾上を通過した台風で最も勢力の強かった伊勢湾台風（T5915）の経路を**図-4**のように平行移動（T5915a：東へ400km，T5915b：東へ200km，T5915c：移動なし，T5915d：西へ100km）させるとともに，想定最大規模として上陸時気圧が900hPaとなるように気圧を定量低減させて推算した．

想定最大波浪の推算結果を**表-2**に示す．低気圧による想定最大波浪（L700201a）は，波高，周期とも，L700201をわずかに上回った．このことは，L700201の高波は，その低気圧規模で発達する最大規模の波浪であったことを示している．一方，台風による想定最大波浪については，いずれの経路もT5915より波高，周期とも大きくなっていることから，中心気圧低下の効果が大きく現れている．また，T5915aやT5915bのように台風経路を対象地点より東に移動することにより，台風西側での風が大きくなり，T5915と比べて著しく波高や周期が増大している．

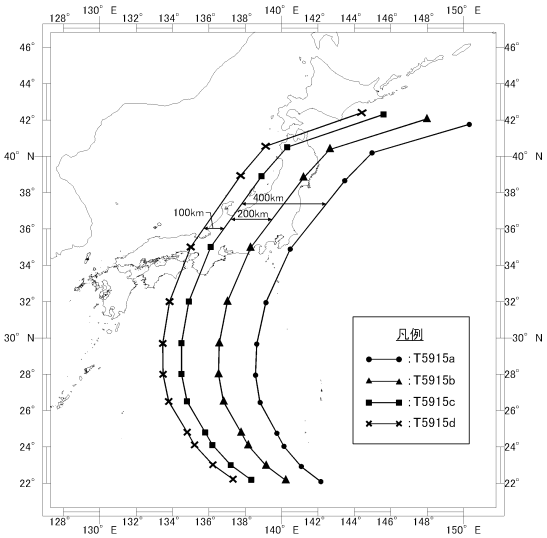


図-4　モデル台風の経路

表-2　想定最大波浪の推算結果

擾乱	ケース名	推算値	
		$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)
低気圧	L070201a	8.47	14.6
台風	T5915a	6.80	12.2
	T5915b	6.20	11.9
	T5915c	5.91	10.6
	T5915d	4.28	9.2

（4）波高・周期の結合生起確率

田中観測所で30年間（1979～2008年）に得られた波浪データから年最大値統計と極大値統計を整理し，波高の極値統計解析および波高・周期の結合生起確率の算定を行った．2008年2月の高波の波高は，年最大値統計で約50年確率，極大値統計で約40年確率と評価された。また，波高・周期の結合生起確率の分布に台風および低気圧による想定波浪の波高・周期をプロットしたものが**図-5～6**である．1970年2月の高波（L700201）の結合生起確率は，年最大値統計で約1/10,000，極大値統計で約1/3,000と算定された．また，想定最大規模の高波（L700201a）の結合生起確率は，年最大値統計で約1/12,500，極大値統計で約1/5,000となった．これに対し，2008年2月の高波（L080224）の結合生起確率は，年最大値統計，極大値統計とも約1/700と算定された．

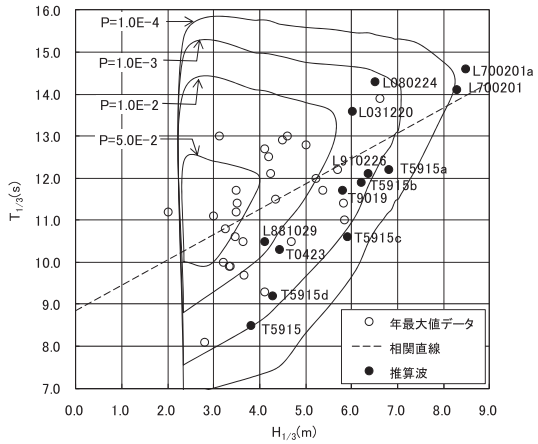


図-5　波高と周期の結合生起確率（田中観測所，年最大値統計）

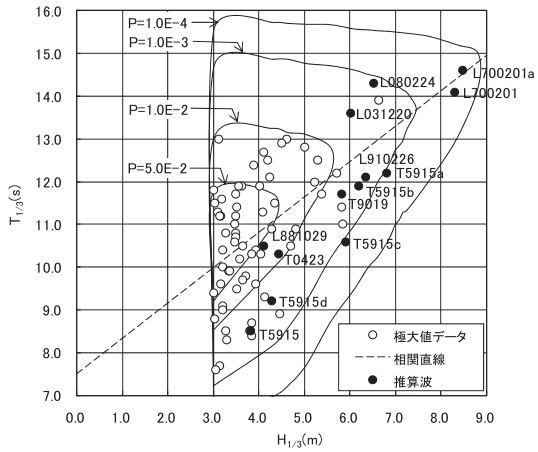


図-6　波高と周期の結合生起確率（田中観測所，極大値統計）

(5) 浸水想定

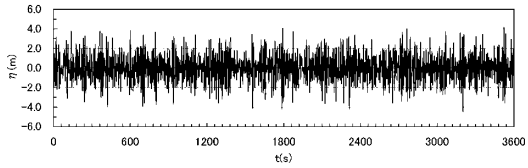
L080224で浸水が生じた下新川海岸生地地区（東西8km，南北13.5km，計算格子間隔10m）を対象に，二次元不定流モデルにより浸水状況の再現計算を行った．この地区では，生地鼻を境として，北側は消波工を有する直立堤，南側は緩傾斜堤となっており，浸水状況から直立堤で延長350m（A区間），緩傾斜堤で延長150m（B区間）において越波が生じていたと仮定した．また，全体的には標高が内陸方向に低くなっており，越波で流入した海水が堤内地で広がりやすい地形になっている．

再現計算では，2008年2月24日4～14時について，生地沖（水深50m地点）の波浪を推算し，その結果を用いて各区間の平均越波流量と短時間越波流量を算定した．平均越波流量の最大値はA区間で0.0153m^3/m/s，B区間で0.0234m^3/m/sとなった．短時間越波流量は，シングルサーメーション法により図-7のように算定され，瞬間的には5m^3/m/s以上の越波が生じている．なお，越波流量計算における潮位は，生地観測所における2月24日の最高潮位（T.P.＋0.31m）とした．

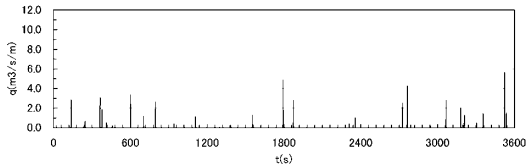
この海岸堤防には排水工が設けられているものの，その排水能力は定かではないが，越波流量から0.01m^3/m/sを差し引くことで実際の浸水域をほぼ再現できたことから，この方法で最大浸水深や最大流速を算定した．堤内地においては，この地区の東側にある河川での自然排水のみを浸水計算で考慮している．

図-8は，浸水の再現計算で得られた最大浸水深と最大流速の平面分布である．最大浸水深の計算結果を見ると，計算で得られた浸水域は実際の浸水域（図中に線で表示）より広がっているが，浸水深0.2m以上の領域は実際の浸水域とほぼ一致している．これは，越波が長時間継続している中で，土のう積みなどの水防対応や，側溝などによる浸水域での排水を計算では見込んでいないためと考えられる．また，境界条件が平均越波流量でも短時間越波流量でも浸水域はほぼ同様である。一方，最大流速については，平均越波流量を用いた場合にはほとんどが0.4m/s以下となっているが，短時間越波流量を用いた場合には1.6m/s以上となっている箇所がある．最大浸水深や最大流速の空間最大値は，平均越波流量を用いた場合には1.4mと1.0m/s，短時間越波流量を用いた場合には1.9mと2.7m/sとなった．

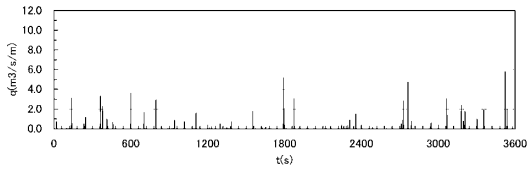
近隣の入善町芦崎地区において越波で流入した海水が津波のように道路を流れる様子が報道されていることから判断すると，流速0.4m/sは明らかに過小と考えられる．このように，短時間越波流量を境界条件とした浸水計算により，実態に近い浸水状況が再現できることが示された．



(1) 生地沖の水位の時系列変化



(2) A区間の越波流量の時系列変化



(3) B区間の越波流量の時系列変化

図-7　2008年2月高波（L080224）による短時間越波流量（波高ピーク時）

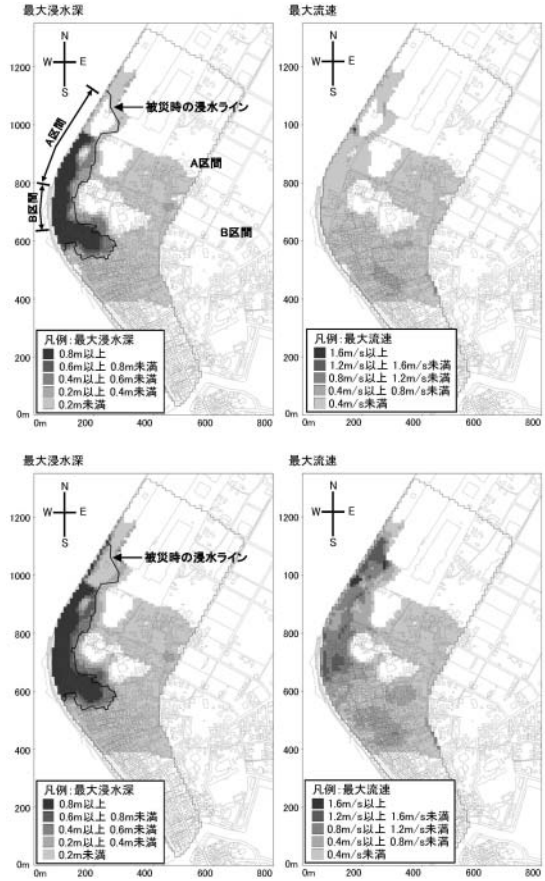


図-8　2008年2月高波（L080224）による最大浸水深，最大流速（上：平均越波流量，下：短時間越波流量）

次に，想定最大波浪（L700201a）による浸水の想定計算を，L080224と同様に排水能力を考慮して行った．想定最大波浪は強風が長時間継続すると仮定して推算されたものであるが，浸水計算では波高がほぼピークに達した時刻で計算を打ち切った．なお，柴木ら（2002）にならいradiation応力を考慮した高潮推算を行った結果，最大潮位偏差は0.16mと推算されたことから，これを朔望平均満潮位に上乗せしたT.P.＋0.63mで越波流量を計算した．

この波浪では，平均越波流量の最大値は，A区間で0.0461m^3/m/s，B区間で0.1071m^3/m/sとなり，L080224の3倍以上に増加している．また，両区間とも，短時間越波流量が10m^3/m/s以上となることがあった．図-9のように，平均越波流量，短時間越波流量とも，L080224より，浸水域が広がり，最大流速が大きくなっている．最大浸水深や最大流速の空間最大値は，平均越波流量を用いた場合には1.6mと1.6m/s，短時間越波流量を用いた場合には3.6mと3.6m/sとなった．

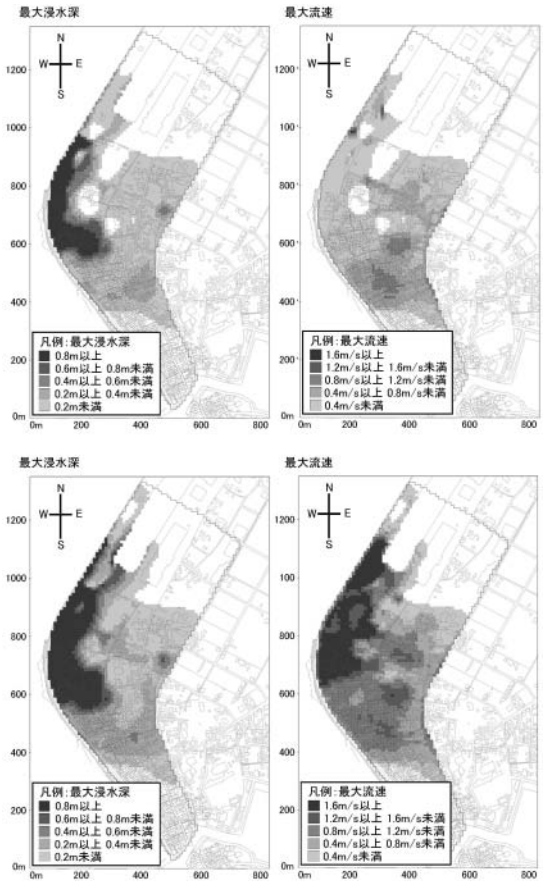


図-9　想定最大波浪（L700201a）による最大浸水深，最大流速（上：平均越波流量，下：短時間越波流量）

4. おわりに

本研究で得られた主な結論は以下のとおりである．

・高波による浸水の想定手順を整理し，下新川海岸でのケーススタディでその適用性を確かめた．

・低気圧および台風による想定最大波浪の推算を試み，それによる浸水の発生頻度を説明する観点から，その波高と周期の結合生起確率を評価した．

・排水能力を考慮した浸水計算において短時間越波流量を使用することで，下新川海岸生地地区での2008年2月の越波による浸水状況を再現できた．また，そのモデルを用いて，想定最大波浪の越波による浸水想定計算を行うことができた．

謝辞：北陸地方整備局黒部河川事務所からは海底地形データおよび海象と浸水に関するデータを，黒部市都市建設部都市計画課より陸上地形データを提供していただいた．また，波高・周期の結合生起確率の計算方法について，五洋建設（株）技術研究所の関本恒浩博士にご教示いただいた．ここに記して謝意を表します．

参　考　文　献

近藤浩右・鈴木義和・鹿島遼一・土屋義人（1985）：日本海中部沿岸における沿岸波浪の極値統計と佐渡島遮蔽域の波浪特性，海岸工学論文集，No. 32，pp. 129-133.

関本恒浩・花山格章・片山裕之・清水琢三（1999）：設計波周期の設定方法の提案，海岸工学論文集，No. 46，pp. 256-260.

柴木秀之・渡辺　晃（2002）：密度成層とWave Setupを考慮した多層高潮推算に関する研究，土木学会論文集，No. 719，II-61，pp. 47-65.

高山知司・平石哲也・立石義博（1989）：多方向不規則波の造波信号発生法に関する検討，海岸工学論文集，No. 36，pp. 153-157.

内閣府（防災担当）・農林水産省農村振興局・農林水産省水産庁・国土交通省河川局・国土交通省港湾局（2004）：津波・高潮ハザードマップマニュアル，128p.

平石哲也・望月徳雄・佐藤一央・丸山晴広・金澤　剛・桝本達也（1996）：護岸越波流量における波の多方向性の影響，港湾技術研究所報告，No. 35，Vol. 1，pp. 39-64.

Booij, N., L. H. Holthuijsen and R. C. Ris (1996): The SWAN wave model for shallow water, Proceedings of 25th International Conference on Coastal Engineering, Vol. 1, pp. 668-676.