

新潟西海岸における吹送流を考慮した地形変化予測モデルの開発

The Topography Change Prediction Model that considered a Flow caused by Wind in the Niigata West Coast

吉永宙司¹・吉田秀樹²・吉田忠³・伊部知徳⁴・黒木敬司⁵

Hiroshi YOSHINAGA, Hideki YOSHIDA, Tadashi YOSHIDA, Tomonori IBE and Keiji KUROKI

The anti-shore erosion measure in the Niigata West Coast has been passed over about 25 years. These measures have composed of submerged breakwater, a jetty and nourishment. The beach (800,000 m³ nourishment sand has been used) has changed to a very large sandy beach and been utilized by citizen as the place of recreation and relaxation. The calculation result of the flow has been improved due to the addition of wind stress which was not applied in the past for the purpose of reproducing the flow around submerged breakwater located offshore. In addition to the above, the prediction of topographic change around submerged breakwater has been also improved by the incorporation of development pattern of waves in Niigata Beach into the calculation condition.

1. はじめに

古くから市民に親しまれている新潟西海岸を保全するため、1980年代から国の直轄事業として、潜堤・突堤・養浜を組合わせた面的防護工法による侵食対策が実施されてきた。2007年度時点では、潜堤の施工延長が約1,550mに達し、突堤については3基が概成した。養浜については、約80万m³の砂が投入されている。

高野ら(2004a)は、当初の事業計画の検討に用いた数値モデルの再現精度を向上するため、日本海特有の波の発達・最盛・減衰過程を波浪条件に設定し、波浪と海浜流を外力に潜堤背後に形成される帯状の侵食分布等、潜堤周辺の地形変化を再現している。一方、高野ら(2004b)は、波浪・流況に関する冬期現地観測を実施し、西からの強風に伴う波浪の発達期に海域全域で東向きの強い沿岸流が観測され、波高が最大となった最盛期には、水深10m以深は、東向きの流れが継続する一方、水深10m以浅で、西向きの流れに転じることを報告している。

そこで、本研究では、侵食対策の施工が当初の事業計画に近づきつつある現在、今後の事業展開の計画を検討する際のツールとする目的で、風による流れを考慮した影響評価モデルの構築を試みた。

2. 新潟西海岸の流況特性

高野ら(2004b)による現地観測結果に基づいた新潟西

海岸の流況特性の概要を述べる。

(1) 観測方法

現地観測は、2004年1月～2月の冬季風浪期の1ヵ月間、**図-1**に示す新潟西海岸の面的防護施設前面とその周辺に、計17台の観測機器を設置し、波と流れの観測を行った。

波浪観測は、**図-1**のNo.1, 4-7, 9, 10(●印)に波浪計を設置し、流況観測は、No.1-4, 6-10(★印)に多層流向・流速計を設置して、面的流況特性を把握した。

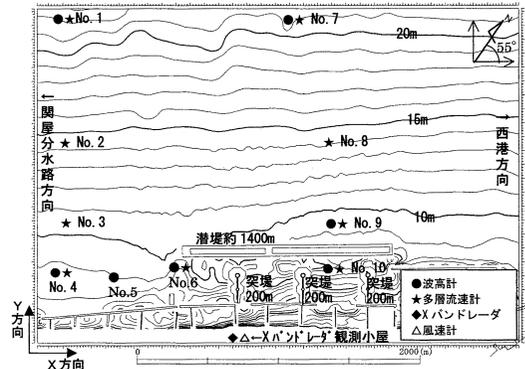


図-1 現地調査位置図

(2) 波の発達・最盛・減衰過程の流速の経時変化

新潟西海岸前面海域の代表測点として、測点No.7(水深23m)、また、浅水域の代表測点として測点No.6(水深9m)を選び、高波浪が観測された1月13～15日の波高と沿岸方向流速の経時変化を**図-2**に示す。図中には、No.7の有義波高とNo.7およびNo.6の海底面上約1.5mでの流速を示す。

No.7の流速は、波の発達期に最大となり、0.7m/s程度の東向きの流れが観測され、波の最盛期から減衰期にかけての流速は、0.2～0.4m/sの東向きの流れが継続する。

- | | |
|-------|---------------------------------|
| 1 正会員 | 前 国土交通省北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 所長 |
| 2 正会員 | 国土交通省北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所 所長 |
| 3 | 国土交通省北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 調査課長 |
| 4 | 財団法人 沿岸技術研究センター 調査部 研究員 |
| 5 正会員 | 博(工)株式会社 エコー 調査・解析部長 |

一方、No.6の流速は、波の発達期に東向きの流れが形成されるものの、波高3m程度になると西向きに転じ、波の最盛期直前に流速0.8m/sとなる。その後、波の最盛期から減衰期にかけて西向きの流れを継続しながら、波高の変化に応じて徐々に流速が遅くなる。

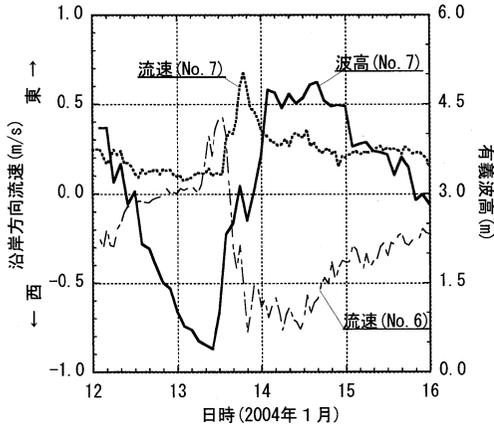


図-2 高波浪来襲時の波浪と沿岸流速の経時変化図

(3) 面的流況分布特性

図-3は、波の発達期と最盛期に観測された流況(表層, 底層)の分布図である。図中には、流況の他にNo.7の波浪と、陸域において観測された風況を図中上段に示した。

波の発達期の流速は、全域で東に向かう流れが形成されている。一方、下段に示した最盛期における潜堤沖側の流況は、波向が北方向に変化するものの、東に向かう流れが継続している。これに対し、水深10m以浅の流況は、西向きに転じ、その流速は、0.3~0.6m/s程度となる。

表層と底層の流れを比べると、表層の流速に比べて、底層の流速は、やや弱まるものの、その差は0.1m/s以下と小さい。表層と底層の流向に若干の差が生じるものの、その他の時刻を含む観測期間中の観測データを用いた高野ら(2004b)の解析結果は、ほぼ同一であることを確認している。

3. 海浜流予測モデルの改良

新潟西海岸の海域で生じる流れは、波浪による流れのみで説明できない東向きの流れが形成されていた。海域で生じる東向きの流れは、風の影響を受けていると考えて、海浜流予測モデルの改良を試みた。

現地で観測された表層と底層の流速に差が小さいことから、海浜流予測モデルは、表層から底層までを積分した平均流に関する運動方程式を基礎方程式とし、これに

風による摩擦項を加えて、2004年に取得した現地観測結果を検証データとして再現計算を行い、現地適用性を検証した。

(1) 計算方法

運動方程式に加える風の摩擦項は、摩擦応力として、式(1)を与えた。

$$W_x = \frac{\tau_{wx}}{\rho(h+\eta)}, W_y = \frac{\tau_{wy}}{\rho(h+\eta)} \quad (1)$$

ここに、 τ_{wx}, τ_{wy} は、x, y方向の平均せん断応力(式(2)のとおりである。

$$\tau_{wx}, \tau_{wy} = \tau_w (\cos \theta_w, \sin \theta_w) \quad (2)$$

せん断力の絶対値 τ_w は、式(3)、式(4)で表されるHsu(1988)の評価式を用いた。 ρ_a は、空気と海水の密度の比、 C_{10}, W_{10} は高さ10mに換算した摩擦係数と風速である。 κ はカルマン定数である。

$$\tau_w = C_{10} \rho_a W_{10} \quad (3)$$

$$C_{10} = \left(\frac{\kappa}{14.56 - 2 \ln W_{10}} \right)^2 \quad (4)$$

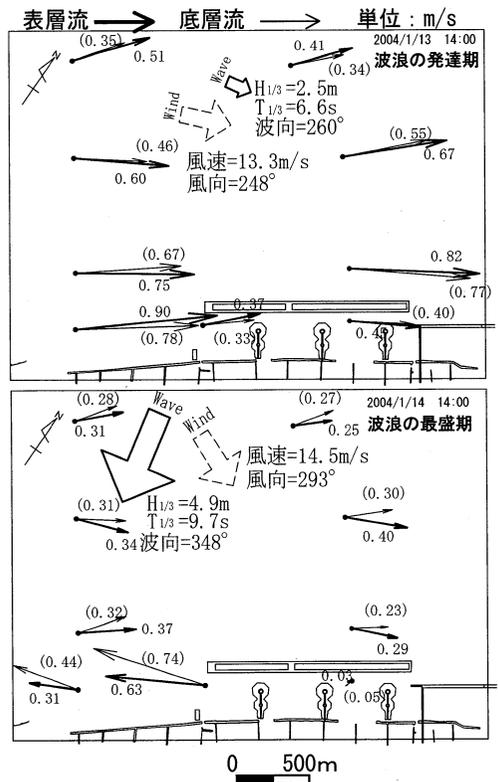


図-3 高波浪時の流況平面分布図

(2) モデルの検証

計算ケースは、波の発達・最盛・減衰過程における9ケースを選定し、風による効果を比較するため、波を外力とした海浜流計算と風を外力として加えた海浜流計算の2通りの計算を実施した。外力条件は、同時刻に観測されたNOWPHAS新潟の実測値を波浪条件として与え、AMeDAS新潟の実測値を風況条件として与えた。

図-4は、波の最盛期において、NOWPHASで観測された波浪を外力条件に計算した海浜流計算結果であり、図-5は、同じ波浪条件に、AMeDASの風を風況条件に与えて計算した海浜流計算結果である。図中には、現地を観測された流況(表層)を合わせて示す。

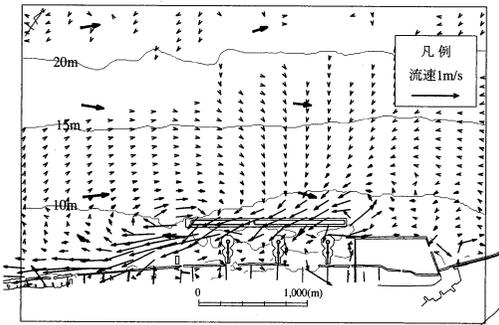


図-4 外力条件を波浪とした海浜流計算結果

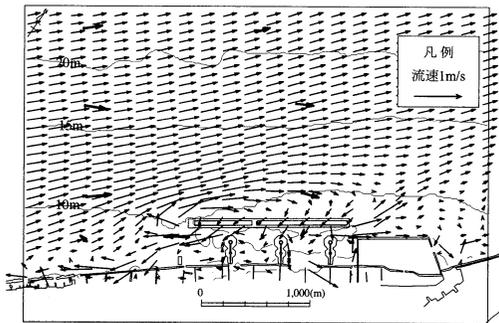


図-5 外力条件を波浪と風とした海浜流計算結果

波を外力とした海浜流計算結果は、水深10m以深の流速が2cm/s程度と小さく、現地で確認された東向きの流れを再現できていない。また、水深10m以浅の流れは、西向きの流れが強く現れ、特に潜堤端部の流れは、現地の流速が0.5m/s程度の流れであるのに対し、最大2m/s以上と速い。

外力として風を加えた海浜流計算結果は、現地で生じる水深10m以深で生じる東向きの流れを再現している。また、潜堤周辺の流況を比較すると、潜堤東側端部を中心に生じる循環流を良く再現している。

図-6は、外力条件であるNOWPHASの波浪(a), AMeDASの風況(b)と2地点の沿岸方向流速について実測値と計算値を比較した結果(c,d)である。

沖側(水深23m地点)の沿岸方向流速を比較すると、波浪を外力とした場合の流速は、東向きの流れを再現できていないのに対し、風を外力に加えた場合は、東向きの流れと風速の減衰に応じて遅くなる流速を再現している。

一方、岸側(水深9m地点)の沿岸方向流速を比較すると、波浪を外力とした場合の流速は、波の発達初期に生じる東向きの流れを再現できておらず、波の最盛期から減衰期の流速も実測値に比べて0.4m/s程度速い。一方、風を加えた場合の流速は、波の発達初期に生じる東向きの流れが再現できていることに加えて、波の最盛期に西向きに転じ、その後の減衰期では、波高の減衰に伴い徐々に流速が遅くなる状況を再現している。

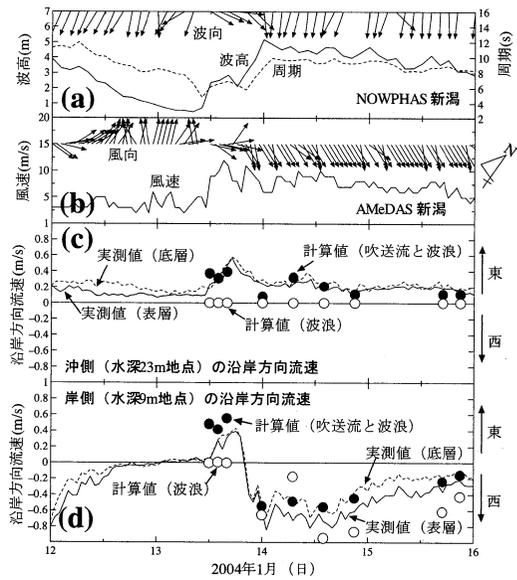


図-6 計算結果の経時変化図

4. 地形変化の再現計算

現地適用性が確認された海浜流予測モデルによる流れ場を外力に、地形変化の再現計算を試みた。

(1) 外力条件

地形変化の再現計算を実施する際の外力条件について検討した。外力条件は、波の発達・減衰過程を代表波浪に設定することに加えて、波高変化に応じた風の変化を風況条件にするため、波と風の相互相関関係について調べた。

a) 波浪条件

波浪条件は、2002～2006年の波浪データに基づいて設定した。高野(2004a)は、新潟西海岸の地形変化が高波浪の来襲と密接に関係することを報告している。

そこで、新潟西海岸に来襲する高波浪の出現状況を把握するため、有義波高5m以上となる高波一覧表を作成した(表-1)。

最大有義波は、2005年12月22日に来襲した8.48m、周期7.9sで、最大有義波の平均値は、波高6.02m、周期10.5sであり、波向は、海岸線直角方向となるN325°であった。有義波高2m以上の継続時間は、最長78時間、最短20時間であり、平均継続時間は、53時間であった。

表-1 高波一覧表(NOWPHAS新潟：2002～2006年)

順位	起 時	波高 (m)	周期 (s)	波向 (°)	2m以上の波の継続時間
1	2005年 12月 22日 12時	8.48	7.9	欠測	64
2	2003年 12月 20日 14時	7.50	12.0	323	28
3	2006年 12月 29日 16時	7.35	11.8	340	46
4	2002年 12月 17日 12時	6.12	10.2	315	20
5	2004年 2月 23日 20時	6.00	12.3	344	32
6	2005年 12月 26日 20時	5.86	12.0	335	78
7	2002年 2月 19日 12時	5.82	11.9	327	48
8	2004年 12月 5日 22時	5.78	10.4	323	30
9	2005年 12月 18日 6時	5.78	9.9	319	76
10	2002年 11月 10日 6時	5.71	10.7	319	44
11	2005年 1月 21日 2時	5.55	10.4	327	58
12	2005年 11月 30日 8時	5.37	10.7	327	56
13	2005年 2月 5日 4時	5.33	8.7	327	52
14	2006年 1月 4日 2時	5.33	10.1	266	74
15	2004年 1月 14日 0時	5.18	8.8	319	74
16	2006年 10月 8日 14時	5.09	9.5	360	64
	平均	6.02	10.5	325	53

このように、来襲する高波浪の継続時間は、変動が大きいことから、波高のピークが一致するように時間軸をずらし、重ね合わせることで、日本海特有の波の発達・最盛・減衰過程等の高波浪の特徴を抽出し、波浪条件として与えることとした。

図-7(a)は、時間軸を調整した波高5m以上の高波浪を重ね、その平均値を太線で表示した結果である。

発達期から最盛期の波浪は、急激に高くなり、最盛期後は、緩やかに減衰する。同様の方法で波向について算定したところ、波の発達期に西から来襲し、最盛期に東向きに転じ、減衰期も継続している状況が確認された(図-7(b))。

Hallermeier(1978)は、地形変動限界水深と長期の波浪観測結果を基に、顕著な地形変化を引き起こす波高の関係式を提案している。この波高の発生確率は、12時間/年に相当し、同式に新潟沖の平均波高と標準偏差を代入すると、波高は、6.6mとなり、新潟西海岸全体での堆積・侵食限界に近い。よって、潜堤・突堤周辺の地形変化を予測する際もこの程度の波高を用いる必要があると判断した。

そこで、波高の経時変化を相似形として、最盛期の波高が6.6mとなるように補正し、周期については、波形

勾配1/50を仮定して求めた。このようにして求めた有義波、波向を6時間毎に平均して作成した経時変化図が図-8である。

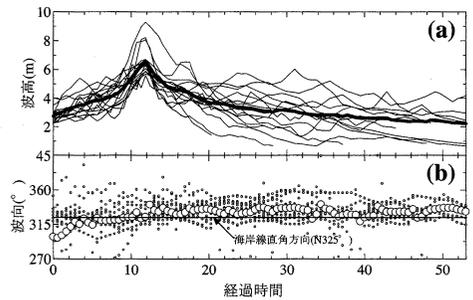


図-7 時間軸を調整した波浪の経時変化図

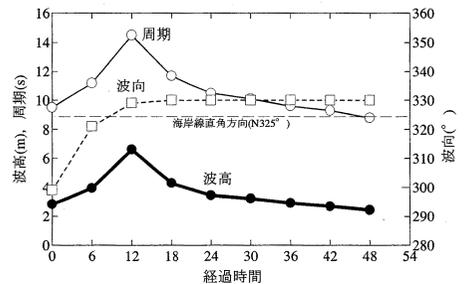


図-8 波高・周期・波向の経時変化図

b) 風況条件

風については、波と風の関係について調べ、導かれる関係式に基づいて、風況条件に設定することとした。

図-9は、波高5m以上の高波浪16時化と同時刻に観測された風速・風向を用い、風速・風向に対する波高の相互相関関係を示したものである。

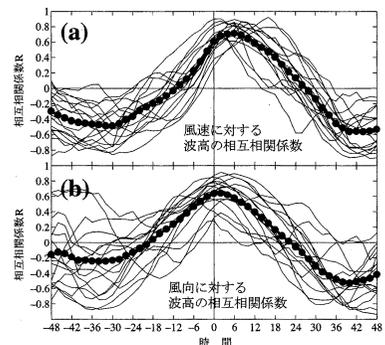


図-9 風速・風向に対する波高の相互相関

波高と風速の相互相関関係(図-9(a))は、高い相関関係にあり、相互相関係数が最大となる風速は、波浪の最

盛期の6時間前であり、相互相関係数の最大値は、0.7となる。

一方、波高と風向の相互相関関係(図-9(b))は、波高の増大に伴い、風向が360度に傾く正の相関がある。相互相関係数は風速に比べて低いものの、最大となる時間は、波浪最盛期の2時間前である。相互相関解析による波高変化に対する風速、風向の位相のずれを調整した上で、代表波高に対するそれぞれの相関式を求め、風況条件を設定した。このように設定した9ケースの波浪、風況の外力条件を表-2に示す。

表-2 外力条件

	波浪条件			風況条件	
	波高(m)	周期(s)	波向(°)	風速(m/s)	風向(°)
Phase1	2.81	9.5	299	7.1	266
Phase2	3.94	11.2	321	10.6	313
Phase3	6.60	14.5	329	7.6	315
Phase4	4.29	11.7	330	6.4	289
Phase5	3.44	10.5	330	6.1	271
Phase6	3.21	10.1	330	5.7	264
Phase7	2.90	9.6	330	5.4	256
Phase8	2.68	9.3	330	5.1	250
Phase9	2.43	8.8	330	4.6	241

(2) 地形変化計算

設定した外力条件により地形変化の計算を試みた。計算は従来のモデル(樫木ら, 1984)を用いた。

再現対象地形は、2002~2006年の4年間に生じた地形の変化とし、1年間の地形変化を再現する波の作用時間54時間(6時間/1ケース×9ケース)を4回繰り返すことで地形変化の再現計算を実施した。

図-10(a)に再現対象地形を示し、地形変化の再現計算結果を図-10(b)に、吹送流の有無による地形変化分布の差分図を図-10(c)に示す。

地形変化の再現計算結果は、潜堤東側端部、西側端部で生じる洗掘の分布形状と対象区域内の土砂量変化を再現できた。図-10に示した計算領域を突堤を挟んで西から順にA-Eの記号を振り、実測値と計算結果を比較した結果が図-11である。計算結果は領域A, Bで実測値と良く対応しており、当初の目的であった、潜堤周辺の水深変化予測の精度が向上された。なお、領域C, Dでは土砂の増減傾向が異なる。この要因としては、領域C, Dに含まれる汀線付近の侵食を再現できていないためである。現地で生じる汀線付近の侵食には、地盤沈下による侵食の可能性が指摘されており(吉田ら(2008)), 本モデルでは考慮していない。

5. おわりに

本研究では、新潟西海岸の事業計画の検討において、考慮されていなかった風による流れを海浜流予測モデルに取り込み、現地で生じる面的な流況特性を再現することが可能となった。

また、相互相関解析による波浪と風況の位相のずれを考慮した波浪、風況の外力条件に地形変化の計算を実施したところ、現地で生じる地形の変化を精度良く再現できた。

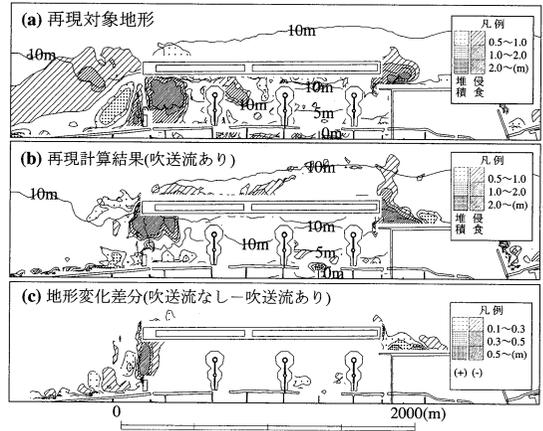


図-10 地形変化の再現計算結果

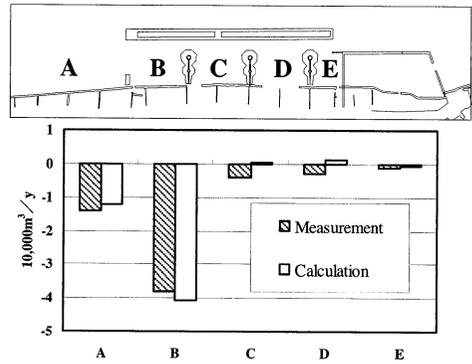


図-11 潜堤背後の土砂量再現結果

参考文献

樫木亨・李宗燮・出口一郎(1984): 河口周辺の海浜流及び地形変動モデルに関する研究, 第31回海講論文集, pp.411-415.
 高野誠紀・坂井秀雄・中宮正人・山田貴裕・黒木敬司・佐藤道郎(2004a): 新潟西海岸での潜堤背後侵食についての数値解析, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.471-475.
 高野誠紀・坂井秀雄・中宮正人・坂井隆行・李在炯(2004b): 新潟西海岸の冬季波浪時における面的流況観測結果, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.371-375.
 吉田秀樹・清水利浩・伊部知徳・山田貴裕・片野明良(2008): 大規模潜堤背後の海浜地形の特徴と地盤沈下による断面変化, 海岸工学論文集, 第55巻(投稿中).
 Hallermeier, R. J. (1978): Use for a calculated limit depth to beach erosion, Proc. 16th ICCE, pp.1493-1512.
 Hsu, S. A.(1988): Coastal meteorology. Academic Press, San Diego, CA.