

新潟港海岸（西海岸地区）大規模侵食対策事業

美しい砂浜を将来に引き継ぐ取り組み

宮坂義朗

昭和 61 年度から長期にわたり試行錯誤を経て進めてきた新潟港海岸の大規模侵食対策事業が令和 4 年度に整備が完了した。新潟港海岸（西海岸地区）の侵食対策は、離岸堤（潜堤）、突堤及び砂浜を配置して面的に海岸を防護する工法（面的防護工法）を用いて海岸の長期的安定を図るものであり、砂浜を維持管理する指標の設定が不可欠であった。このため、同海岸の長期にわたる地形変化の観測データやその分析結果から得られた知見を踏まえ、砂浜の健全度指標を設定した。本稿では、全国で初めて砂浜の健全度指標を設定し、絶えず変化する砂浜の浜幅に着目して簡易に管理できる指標を設定した結果について紹介する。

キーワード：砂浜，維持管理，健全度指標，海岸保全施設

1. はじめに

海岸法の改正（1999 年）により、砂浜を海岸保全施設として指定することが可能になったものの、改正後 20 年経過した現在も指定事例は少ない。指定された事例が少ない一因として、砂浜はコンクリート構造物と異なり常に変形することから、その変形特性等を十分に把握した上で、維持管理を行う必要があるものの、砂浜の健全度を把握するための指標や維持管理基準の設定方法が確立していないためと考える。

新潟港海岸では、潜堤、突堤、養浜による面的防護工法により砂浜の回復に成功している。面的防護工法とは、沖合の幅広天端の潜堤及び砂浜等により波のエネルギーを徐々に減衰させる方式であり、潜堤前面の海底面を含め、海岸地形を安定的に維持することが可能である。突堤先端は、年数回波に対する移動限界水深まで延伸していることから、海底土砂移動は岸沖方向の流出入を考えれば良い海岸である。養浜の初期変形（波浪等外力により養浜初期地形が平衡地形に応答する変形）は、概ね収束しているものの、地盤沈下が継続しているため、養浜地形は僅かながら変形し続けている。このようななか、新潟港海岸では砂浜を海岸保全施設に指定する準備を進めている。

本研究は、沿岸漂砂による海底土砂の収支を考慮しなくて良い新潟港海岸の養浜地形変化特性を踏まえ、砂浜の点検が容易な汀線位置を指標として、砂浜の維持管理のための健全度を検討する。

2. 新潟港海岸の諸条件

(1) 防護ライン

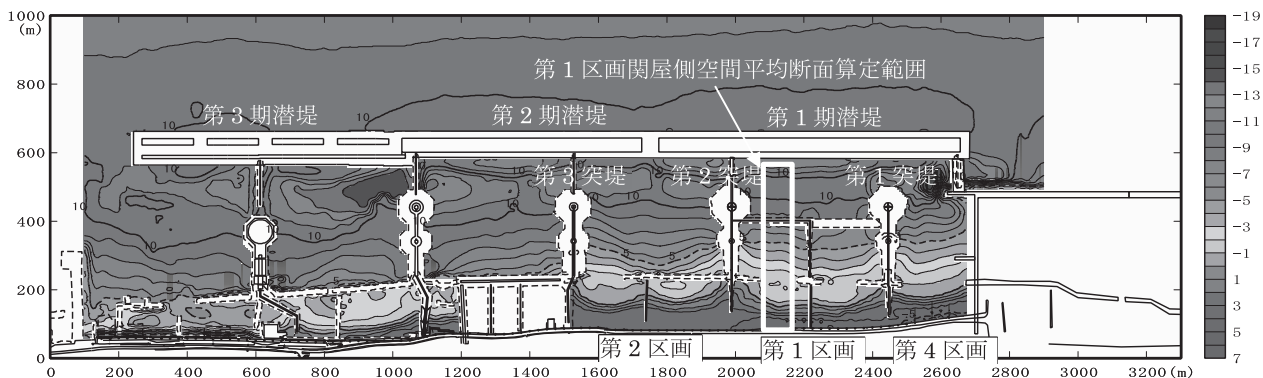
新潟港海岸は、新潟西港の西側に隣接する約 2.6 km の海岸である。養浜整備は、第 1 区画が 2000 年に完成（約 52 万 m³）し、その後 2009 年に第 4 区画（約 22 万 m³）、2015 年に第 2 区画が完成（約 40 万 m³）した（図—1 参照）。養浜整備と並行して、養浜の後浜天端高とほぼ同じ高さで直背後に海岸道路（市道中央 3-176 号線）が建設され 2005 年に開通した。このため、新潟港海岸では海岸道路と養浜の境界を防護ラインとして波のうちあげを低減させる機能が要求されるようになった。

(2) 地盤沈下

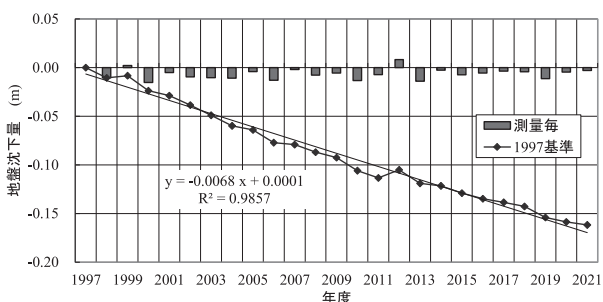
図—2 に示すように地盤沈下が約 7 mm/年の速度で継続しており、砂浜維持管理の重要な条件となっている。

3. 地形変化特性と養浜設計断面

第 1 区画では、養浜地形の安定性を監視するために、2001 年 7 月から現在まで年 2 回の頻度で深淺測量を実施している。図—1 の□枠囲みの空間平均断面は、2013 年頃までに養浜地形が波浪等外力に応答して、概ね平衡地形に達している（以下、この変形を養浜初期変形と記す）。図—3 は 2013 年以降の空間



図一 新潟港海岸の地形，海岸保全施設の平面配置

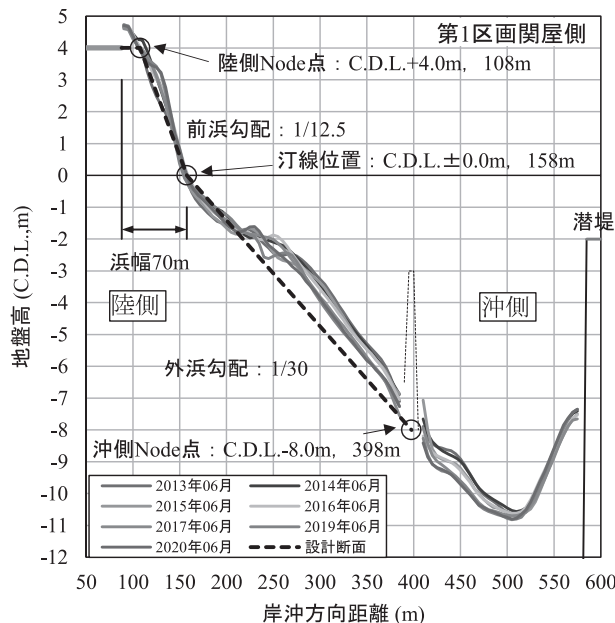


図二 地盤沈下の経年変化

平均断面地形を示したものである。2013年以降の断面地形変化は小さい。地形変化を詳細に見ると、C.D.L.+2.0mより高い領域では飛砂により僅かに堆積傾向となっている。また、C.D.L.±0.0mより陸側の海底勾配（前浜勾配）は約1/12.5、海側の勾配（外浜勾配）は約1/30となっており、汀線を境界に陸側と海側で異なった地形勾配が形成されていて、且つ、それぞれ平衡状態となっている。

岸沖方向距離600m付近に設置した潜堤背後の養浜断面は、C.D.L.+3.5~4.0m、およびC.D.L.-8.0m付近で断面地形変化が少なく、断面地形はこの2点をNode点としてその範囲内で変化していることがわかる。陸側のNode点C.D.L.+3.5~4.0mは、波の最大遡上高と概ね一致し、沖側のNode点C.D.L.-8.0mは、NOWPHAS新潟沖で設定された年数回発生波(H1/3=4.5m, T1/3=9.0s)の潜堤通過後の換算沖波波高に対する移動限界水深と一致している。

以上の特徴は、潜堤設置水深・断面諸元、養浜粒径が同じ他の区画でも同様である。そこで、波浪等外力に対して平衡となる養浜設計断面を設定し（図一3破線）、養浜の目的達成性能（波のうちあげ高）を改良仮想勾配法を用いて照査する。



図一 第1区画関屋側の空間平均断面，設計断面

4. 維持管理指標と断面変化のモデル化

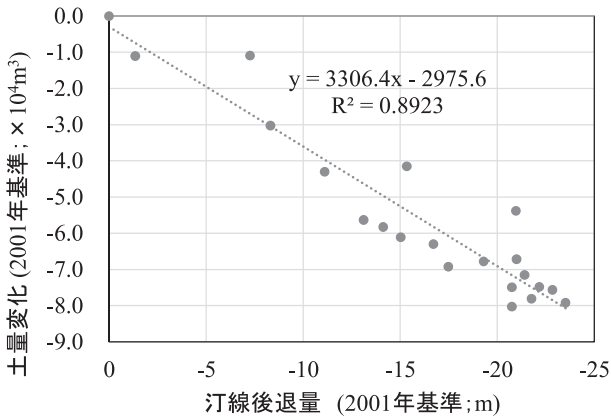
(1) 砂浜維持管理のための指標

砂浜の目的達成性能は、改良仮想勾配法を用いて算定の健全度の指標は、砕波点から波のうちあげ高までの断面積とすればよい。しかし、日常の施設点検で水中部の地形を把握することは、海岸管理者の負担が大きく困難である。

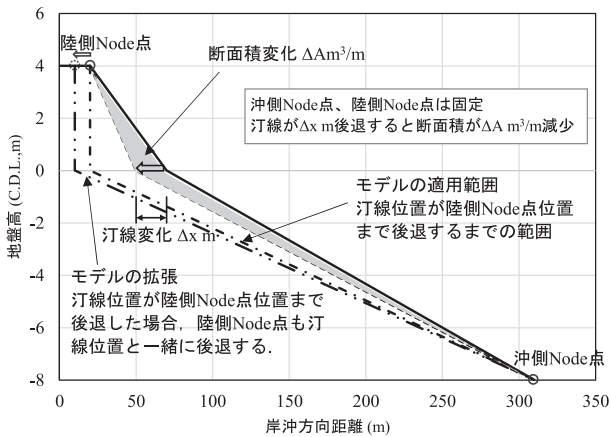
図一4は、養浜直後の2001年を基準として、養浜初期変形期間を含む2021年までのデータを用いて汀線後退量と土量変化の関係を示したものである。養浜断面積（養浜土量）と汀線変化量に高い相関関係（2008年～2016年）を示し、汀線位置を監視指標とすることが可能と考え、監視のしやすさから砂浜幅（汀線位置）を監視指標とすることにした。

(2) 汀線位置と断面変化のグラフ

第1区画における2013年以降の汀線後退速度は、



図一四 汀線後退量と土量変化の関係 (第1区画関屋側)



図一五 汀線後退量と土量変化のモデル

0.34 m/年となっており、ほぼ一様に汀線が後退（浜幅が減少）している。同期間の空間平均断面算定範囲の断面土量変化は、1.95 m³/m/年の速度で減少している。汀線後退1 m 当りの断面土量変化は5.7 m³/mとなる。

上記の関係と断面地形の Node 点をもとに、汀線位置と断面地形変化（断面積変化）の関係をモデル化する。陸側 Node 点は C.D.L.+4.0 m、沖側 Node 点は C.D.L.-8.0 m であり、この点に変化せず、汀線位置が変化する場合の断面変化は、図一五のようになる。このモデルでは、汀線が1 m 後退した場合の断面積変化は6.0 m³/m となり、実測値と概ね一致する。このことから、汀線位置から断面土量変化が推定できることを示しており、汀線位置を維持管理指標とすることの妥当性が確認される。

図一五に示す断面変化モデルにおいて、汀線位置が陸側 Node 位置まで後退した状況でも、波のうちあげ高が道路高(C.D.L.+4.0 m)に到達しない場合には、汀線位置と陸側 Node 点が陸側に移動すると仮定して、波のうちあげ高を照査する。

5. 健全度評価の設定

(1) 砂浜維持管理のための健全度

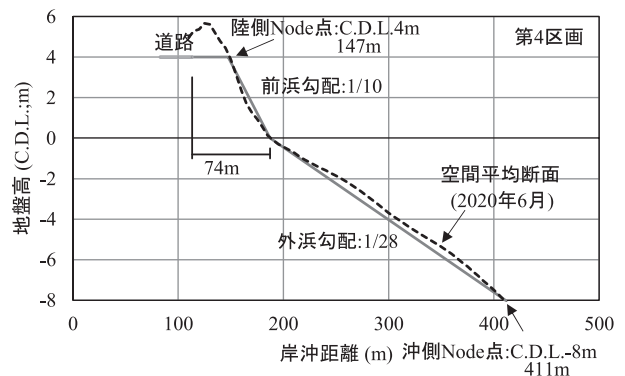
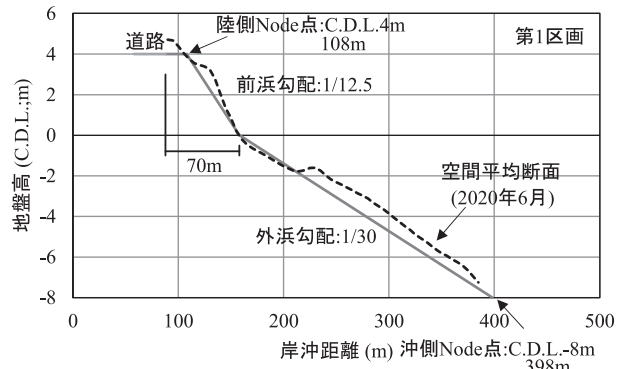
海岸保全施設維持管理マニュアルでは、「健全度評価は、土木構造物における一定区間を突堤間で区切られた区画とし、区画毎に防護機能（健全度）を A, B, C, D ランクで評価する。」とある。砂浜も海岸保全施設に指定する場合、直感的な理解のしやすさから、他施設と同様にランク分けを行った。そこで、砂浜の健全度を表一のように定義し、各段階の汀線位置を検討する。

(2) 設計断面と断面変化モデル

新潟港海岸の各区画は、沖合潜堤の設置水深、断面

表一 砂浜の健全度の定義

健全度	定義
A ランク 措置段階	砂浜が設計波浪・潮位に対して砂浜背後域に波が打ち上がる状態となっている段階
B ランク 予防保全段階	短期的な海浜変形（侵食）により容易に要事後保全段階に移行する可能性が高い段階
C ランク 監視段階	想定された変形が継続すると、砂浜が供用期間末までに予防保全段階（B ランク）になると想定される段階
D ランク 問題なし	C ランクよりも海側に汀線位置がある段階



図一六 各区画の設計断面と2020年6月の空間平均断面

諸元、養浜粒径が同じであることから、最終的には第1区画の平衡断面に近づくと考えられる。そこで、養浜後10年以上が経過し、養浜初期変形が収束している第1区画および第4区画において、現況断面から設計断面を設定した(図-6)。

(3) 外力条件

外力条件は、砂浜が設計波浪・潮位に対して砂浜背後域に波がうちあがる状態となる設計断面からの汀線後退量を決定する。

設計波は、NOWPHAS新潟沖の観測地点で $H_{1/3} = 9.3\text{ m}$, $T_{1/3} = 14.3\text{ s}$, $\theta = \text{N}23\text{W}$ である。波のうちあげ高を改良仮想勾配法により算定するため、エネルギー平衡方程式法による波浪変形計算から潜堤沖側の換算沖波波高を算定し、高山ら¹⁾の提案式により潜堤透過後の換算沖波波高を算定する。また、潜堤背後では平均水位が上昇するため、高山ら¹⁾の提案式より潜堤背後の平均水位上昇量を算定し、波のうちあげ高算定に考慮する。ただし、人工リーフの設計の手引き(改訂版)に、「現地海岸での水位上昇は断面実験結果の1/2以下になることが多い。」と記されていること、2012年11月26日~2013年2月1日の期間に、潜堤背後で観測した平均水位上昇量は、高山らの提案式に比べて1/3~1/2程度であったことから、平均水位上昇量は、高山らの提案式の1/2とする。設計潮位は、既往最大潮位である $\text{H.H.W.L} = \text{C.D.L.} + 0.88\text{ m}$ である。

(4) 各段階の検討

(a) 措置段階

図-6に示す各区画の設計断面に対して、図-5に示す断面モデルを用いて、汀線後退量と波のうちあげ高の関係を算定し、波のうちあげ高が海岸道路高となる場合を措置段階の汀線位置とする。汀線が陸側Node点まで後退しても波が道路高まで到達しない場合には、図-5に示すように、汀線後退とともに陸側Node点も陸側に移動すると仮定する。

図-7は、各区画の措置段階となる汀線後退量と波のうちあげ高の関係を示したものである。設計断面地形が異なるため、汀線後退0m(設計断面)における波のうちあげ高が異なる。第1区画では、汀線後退量が35.7mになると、波のうちあげ高が $\text{C.D.L.} + 4.0\text{ m}$ となり措置段階となる。

第4区画は、陸側Node点から道路までの後浜幅が広く、遡上波が道路まで到達し難い断面となっている。そこで、片野ら²⁾を参考に後浜天端幅(34m)の2%

を天端高に加算した仮想天端高(陸側Node点高 + $34\text{ m} \times 2\% = \text{C.D.L.} + 4.68\text{ m}$)と設定する。汀線が陸側Node点まで後退(汀線後退量40m)した後は、汀線後退とともに陸側Node点も陸側に移動すると考えるため後浜幅が徐々に狭くなり、その分仮想天端高が低下する。汀線が陸側Node点まで後退すると、外浜勾配が緩くなる分断面面積が増加し、波のうちあげ高が低下する。このため、汀線が陸側Node点まで後退した後は、波のうちあげ高を一定として検討している。

以上の結果をまとめると表-2のようになる。限界浜幅は30.2m~34.3mとなり、海岸管理、安全側を考慮して5m単位でまとめると全区画で措置段階となる浜幅は35mとなる。

(b) 予防保全段階

新潟港海岸の汀線は、冬季に後退し春季に前進する変形を繰り返しながら、徐々に後退する傾向を示している。そこで、冬季の汀線後退量を考慮して予防保全段階となる汀線位置を設定する。

図-8は、第1区画における2001年6月を基準とした汀線変動量(実線)と前の測量からの変動量(棒グラフ)を示したものである。2006年12月から2007年1月にかけて約10日間に10年確率波、20年確率波が連続して来襲しても汀線後退量は5m程度にとどまっている。高波浪が来襲して汀線が後退した状況で、さらに高波浪が来襲してもさらなる汀線後退が生じ難いことを示唆している。2014年12月の爆弾低気圧による汀線後退量も5m程度となっている。また、2016年12月25日から2017年1月12日に第1区画関屋側で汀線位置をビデオ観測を行っており、時化時における汀線後退量は5m程度であることを確認し

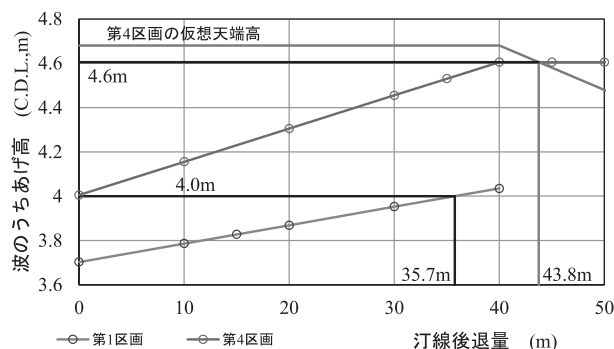
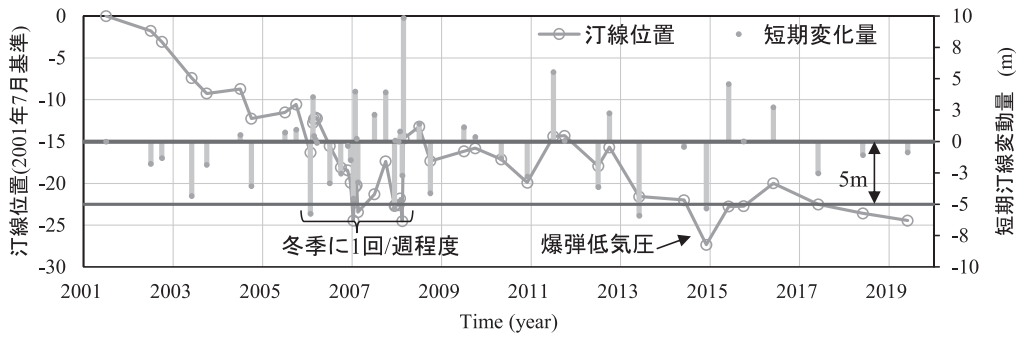


図-7 各区画の措置段階となる汀線後退量と波のうちあげ高

表-2 各区画の措置段階の浜幅

	設計浜幅	後浜幅	限界汀線後退量	限界浜幅	措置段階浜幅
第1区画	70 m	-	35.7 m	34.3 m	35 m
第4区画	74 m	34 m	43.8 m	30.2 m	35 m



図一八 第1区画における過去20年間の汀線位置の経時変化

ている。養浜初期変形が収束する2013年以前は養浜初期変形の影響が含まれるため5mを超える変化も確認されるものの、冬季の汀線後退量は冬季前の汀線位置から5m程度となっている。予防保全段階の汀線位置は、措置段階となる汀線の位置より海側5mとする。

(c) 監視段階

監視段階は、砂浜の供用期間(50年)に後退すると予測される浜幅とする。汀線変化予測モデルは、Kuriyamaら³⁾が提案した岸沖漂砂による汀線変動推定モデルに地盤沈下と海面上昇の影響を加えたものである。モデルの変数は、沖波のエネルギーフラックスと汀線位置、地盤沈下と海面上昇に伴う汀線移動量、平衡断面の位置であり、次式で表される(1a)。

$$y_{s,i} = y_{s,0} + \sum_{j=1}^i \left(\frac{dy_s}{dt} \right)_j \Delta t \tag{1a}$$

$$\left(\frac{dy_s}{dt} \right)_j = a_{01} + a_{02} + a_1 E_j^2 + a_2 E_j + a_3 (y_{s,j-1} - y_{eq,j-1})$$

ここで、 y_s は汀線位置(海方向が正の方向)、 t は時間。

t は時間間隔、 E は潜堤による波浪減衰を考慮した沖波のエネルギーフラックス(= $\rho g H_{1/3}^2 / 16$; $H_{1/3}$ は有義波高、 ρ は海水の密度、 g は重力加速度)、 a_{01} は地盤沈下と海面上昇による汀線変化速度((地盤沈下速度+海面上昇量)と海浜勾配の逆数との積)、 a_{02} 、 a_1 、 a_2 、 a_3 はそれ以外の係数、 y_{eq} は地盤沈下と海面上昇による平衡断面の移動量(=地盤沈下と海面上昇による汀線移動量の累積値 Σa_{01} 、海方向が正の方向)である。

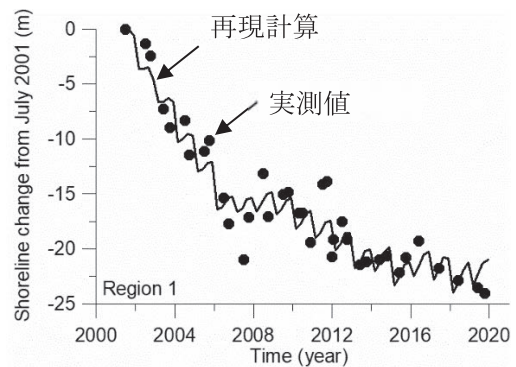
なお、モデルの仮定は以下のとおりである。

①汀線は、地盤沈下(7mm/年)および海面上昇(IPCC2019, RCP2.6)が生ずると、幾何学的に後退する。その量は、地盤沈下量と海面上昇量との和(地盤沈下量+海面上昇量)と海浜勾配との積で表

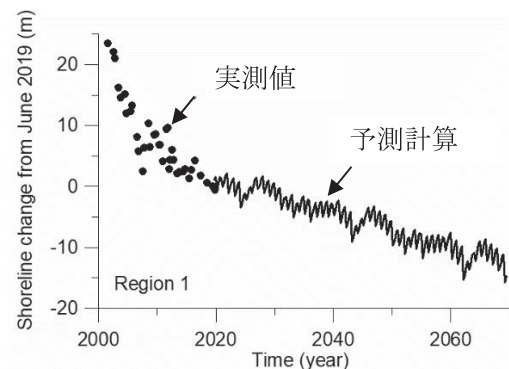
される。

- ②汀線は波浪の影響を受けて平衡断面に近づこうとする。一般的には、波浪が大きいほど平衡断面は岸側から侵食傾向となる。したがって、同じ侵食性の波浪が作用しても、あらかじめ侵食が生じていた断面では、堆積気味の断面に比べて汀線の後退量は小さくなる。
- ③平衡断面は地盤沈下と海面上昇によって陸側に移動する。その移動量は、地盤沈下と海面上昇による汀線移動量の累積値に等しい。

図一9は汀線位置の実測値と計算値の誤差が最小となるようにSCE-UA法(Duanら⁴⁾)により係数を



図一九 第1区画の汀線位置の再現計算



図一十 第1区画の供用期間の汀線位置の予測計算

表—3 経過年数と各段階の浜幅

経過年数	A (措置段階)	B (予防保全段階)	C (監視段階)	D (問題なし)
	波のうちあげ高>道路高もしくは後浜天端高となる浜幅 a(m)	一次的な汀線後退量 b(m)を考慮 (b = 5 m)	供用期間中に変化する浜幅 c (m) c : 供用期間×汀線後退速度	a + b + c ≤ 浜幅
2021年	浜幅 35 m 未満	35 m ≤ 浜幅 < 40 m	40 m ≤ 浜幅 < 60 m	浜幅 60 m 以上
10年	浜幅 35 m 未満	35 m ≤ 浜幅 < 40 m	40 m ≤ 浜幅 < 56 m	浜幅 56 m 以上
20年	浜幅 35 m 未満	35 m ≤ 浜幅 < 40 m	40 m ≤ 浜幅 < 52 m	浜幅 52 m 以上
30年	浜幅 35 m 未満	35 m ≤ 浜幅 < 40 m	40 m ≤ 浜幅 < 48 m	浜幅 48 m 以上
40年	浜幅 35 m 未満	35 m ≤ 浜幅 < 40 m	40 m ≤ 浜幅 < 44 m	浜幅 44 m 以上
50年	浜幅 35 m 未満	35 m ≤ 浜幅 < 40 m	浜幅 40 m	浜幅 40 m 以上

決定した再現計算結果を示したものである。計算値は実測値と良好に一致している。図—10は再現計算で設定した係数を用いて、供用期間50年の汀線位置を予測した結果である。供用期間50年間の汀線後退量は、5m刻みでまとめると20m（汀線後退速度：20m/50年：0.4m/年）となる。

(d) 砂浜維持管理のための各段階の浜幅

以上の結果をまとめると表—3のようになる。措置段階の汀線位置に高波浪時の汀線後退量5mを加えた汀線位置より汀線が沖側にあれば、背後域の安全性は確保されていることになる。新潟港海岸では汀線後退が継続しており、供用期間50年に対する平均的な汀線後退速度は0.4m/年と推定される。監視段階の浜幅（汀線位置）は、砂浜の供用年数と汀線後退速度から設定する考え方を提案している。この考え方は、供用期間残年数が50年の場合と、例えば残り10年となった場合の監視段階となる汀線位置は異なる。残供用年数が少なければ、汀線後退リスクも低下することを考慮したものである。以上のように、監視段階の浜幅は、供用期間残数に応じて変化する考え方を導入した。

6. 巡視点検項目

砂浜の巡視点検時項目は、海岸の安全な利用、景観等を維持する視点も必要であることから、以下の項目が必要と考える。それぞれの項目については、発生要因を分析したうえで、適切に対応する必要がある。

- ①各区画の汀線形状：突堤間の弧状汀線が保たれていない場合には、その要因を分析して対策する。
- ②汀線位置：表—3と照らして健全度を判断する。
- ③遡上痕跡：遡上高が後浜天端高に達している場合には、2次点検を実施する。
- ④浜崖：段差が大きく、安全性に問題がある場合は、立ち入り禁止措置等の緊急対応を実施する。
- ⑤洗掘：構造物の安定性に問題があると判断される場

合には、適切に対応する。

- ⑥陥没：予見は難しいものの、陥没が小規模でも確認できた場合には、ただちに立ち入り禁止措置等の緊急対応を実施する。
- ⑦漂着物：海岸利用等に影響すると考えられるゴミ、流木等がうちあげられている場合には撤去する。
- ⑧飛砂：飛砂対策工の制御効果が低下すると考えられる場合には、対策工回りの飛砂を除砂して海岸に戻す。

7. おわりに

本研究における主要な結論は以下のとおりである。

- a) 巡視時に容易に把握可能な汀線位置を砂浜の健全度を評価するための指標とする妥当性を確認した。
- b) 砂浜の維持管理も予防保全の考え方を踏襲し、砂浜の健全度を定義した。
- c) 地球温暖化による海面上昇、地盤沈下の影響を考慮した汀線変化予測モデルにより供用期間50年間の汀線位置を予測した。
- d) 供用残期間に応じて(C)監視段階、(D)問題なしの浜幅を定義する考え方を示した。

本研究における維持管理基準は沿岸漂砂による地形変化を考慮しなくて良い新潟港海岸をケーススタディとしており、他海岸で適用する場合には、次のことに留意する必要がある。海底地形のモニタリングを行った結果に基づく断面地形の変化予測を適切に行い、各海岸の特性を十分に把握して管理基準を設定する。

謝 辞

新潟西海岸技術委員会からの助言を得た。記して感謝の意を表します。

JICMA

《参考文献》

- 1) 高山知司, 池田直太, 永井紀彦, 高山優: 広天端幅潜堤の越波低減効果に関する不規則波実験, 第35回海岸工学講演会論文集, pp.587-591, 1988.

- 2) 片野明良, 清水利浩, 千田奈津子, 眞井里菜, 宇野喜之, 菊地野生 : 平坦な後浜天端幅を考慮した波のうちあげ高の算定方法について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.78, 投稿中
- 3) Kuriyama, Y.,m. Banno and T. Suzuki: Linkages among interannual variations of shoreline, wave and climate at Hasaki, Japan, Geophysical Research Letters, 39, L06604, doi: 10.1029/2011GL050704., 2012.
- 4) Duan, Q. Y., V. K. Gupta and S. Sorooshian: Shuffled complex evolution approach for effective and efficient globalminimization, J. Optimization Theory and Applications, Vol. 73, No. 3, pp.501-521., 1993.



[筆者紹介]

宮坂 義朗 (みやさか よしあき)
国土交通省 北陸地方整備局
新潟港湾・空港整備事務所 第四建設管理官室
前任建設管理官

