

鳥式漁港による海浜変形特性と移動床模型実験の有効性

山本明宏* · 中西昌満** · 沼田辰巳***
柏葉導徳**** · 近藤俣郎*****

本研究では、国縫漁港周辺の年平均の沿岸漂砂量 Q_l (m^3/y)を推定し、それを基にして漁港周辺の地形変化の原因を調べることにより、沿岸漂砂量の過半は港背後水域を通過していることを明らかにし、鳥式漁港が沿岸漂砂の連続性の保持に一定の効果を発揮していることを示した。また、移動床模型実験により漁港建設当初の地形変化と及び現在の地形変化及び流れを再現することで、現在は地形変化が少ない状況であるが、卓越した北向きの沿岸漂砂により漁港南側では舌状砂州の形成する状況が判明した。また、主防波堤を延伸すると漁港北側で堆砂傾向を助長することが判明した。

1. はじめに

国縫漁港は北海道内浦湾（別名噴火湾）西岸最奥部に位置し、我が国初の鳥式漁港として建設された漁港である（図-1参照）。当漁港は昭和59年度に着工し平成5年度に完成している。計画策定にあたっては1)漂砂による港口港内の埋塞阻止、2)漁港建設に伴う近接海岸への影響の極小化（沿岸漂砂の連続性保持）を基本理念としている（鎌田, 1996）。漁港建設から10年余り経過し、この基本理念について岸ら（2000）はほぼ目的を達成しているとしている。鳥式漁港ワークショップ（2000）の討論では、沿岸漂砂の連続性について疑問が残るといった評価であり、1)については見解の一致をみたが、2)については見解が分かれていた。そこで本研究では、これまで明らかにされていなかった国縫漁港周辺の年平均の沿岸漂砂量 Q_l (m^3/y)を近藤ら（2005）の方法で推定し、それを基にして漁港周辺の地形変化の原因を調べた。また、移動床模型実験により地形変化と流れを再現した。それにより鳥式漁港が沿岸漂砂の連続性の保持に一定の効果を発揮していることを示すとともに、鳥式漁港のあり方について考察する。

2. 既往資料による国縫漁港の現状

(1) 波浪流況調査

内浦湾内の沿岸流及び海浜流は北海道開発局土木試験所（1967）によると国縫付近では夏季は北向き、冬季は南向きの流れが存在し、流れの強さは内浦湾の奥に向かって従って徐々に弱くなる傾向にある。波浪観測結果（1999）によると波浪方向はほぼESE方向（ $N116^\circ E$ ）を中心に $\pm 5^\circ$ の範囲に集中している。等深線に対して約 3° 南に傾いているがほぼ垂直に入射している。

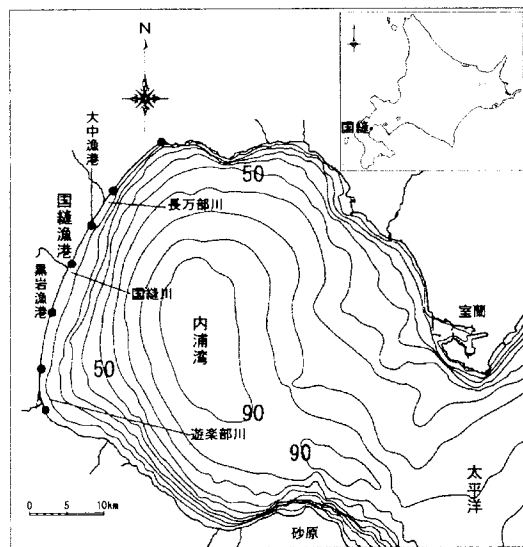


図-1 国縫漁港の位置

(2) 底質調査

国縫漁港周辺の底質調査結果（1999）によると沖へ向かって粒径が小さくなる岸沖方向の底質移動の傾向を示す。管ら（1993）による内浦湾内の周辺海域の調査結果をみると、南側（八雲側）の粒径が大きく北側（長万部側）の粒径が小さくなる傾向を示し、全体的に北向きの底質移動の傾向を示す。

(3) 国縫漁港における海浜変形

国縫漁港の漁港建設から現在までの海浜変形の経過を下記に示す。

a) 1989.8~1990.9: 沖に港の一部（幅約140m）が建設された1年間に等深線にほぼ垂直に入射した波浪により港背後に強い循環流が発生し、港背後水域に急激に舌状砂州が発達した（図-2）。

b) 1990.9~1993.8: 港の幅が広がり（約220m）、現在の港形となった3年間に幅の広がりによる新たな循環流の発生と両側からの沿岸漂砂により舌状砂州の幅の成長がみられる（図-3）。

* 正会員 北海道水産林務部漁港漁村課
** 北海道函館土木現業所八雲出張所
*** 正会員 北海道水産林務部漁港漁村課
**** 正会員 工修 北海道水産林務部漁港漁村課
***** 名誉会員 工博 室蘭工業大学名誉教授

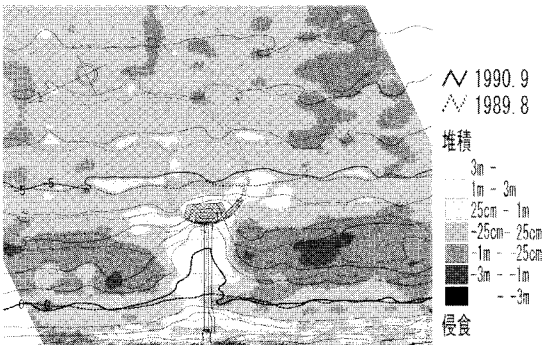


図-2 地形変化図(1989.8-1990.9)

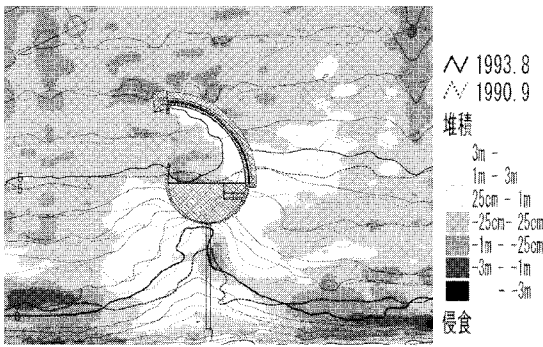


図-3 地形変化図(1990.9-1993.8)

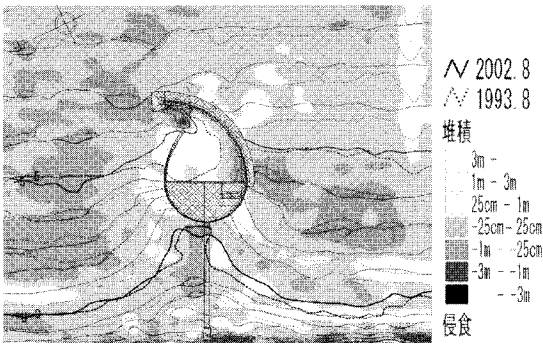


図-4 地形変化図(1993.8-2002.8)

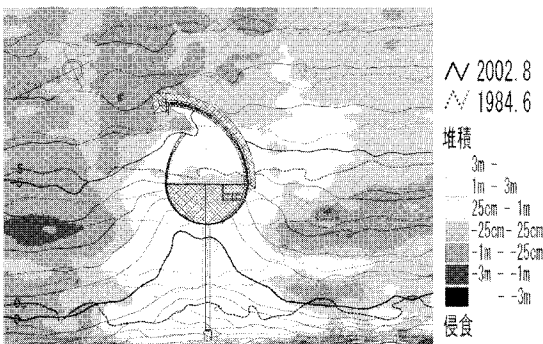


図-5 地形変化図(1984.6-2002.8)

c) 1993.8～2002.8：漁港完成後9年間は、漁港南側からの堆積傾向を示すも地形変化が少ない状況である。波浪による循環流が弱まっていると推測される(図-4)。

d) 1984.6～2002.8：漁港建設前から現在までの18年間の海浜変形をみると、漁港南側の堆積傾向、漁港北側の侵食傾向が確認できる。これは沿岸漂砂の連続性が一部阻害されていることを示す(図-5)。

e) 舌状砂州を含む範囲の土砂変化量の推移について1985.9から1994.11までを鎌田(1996)、1995.3から1999.12までを岸ら(2000)において算出している。これに2004.8までのデータを加えると図-6のようになる。漁港の港形完成後1983.8以降2004.8までの11年間の年平均堆積土砂量は経年変化、季節変動を繰り返しながら約5000 m³/年となっている。

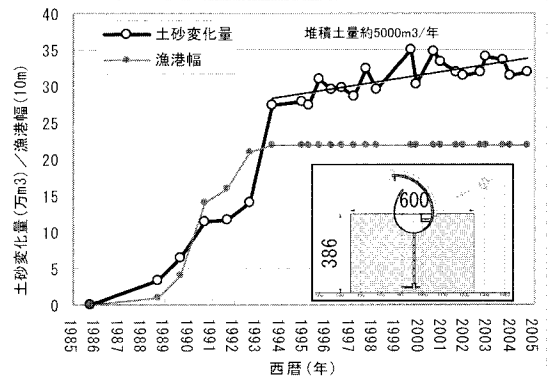


図-6 舌状砂州部の土砂変化量の推移

3. 沿岸漂砂量と地形変形

(1) 地形変化量による沿岸漂砂量の推定

砂浜海岸の地形変形にとって沿岸漂砂量 Q_l (m³/y)は最も重要な要因であり、これを定量的に推定できなければ地形問題の解明は困難である。ここでは近藤ら(2005)の提唱する突堤周辺の地形変形量と沿岸漂砂量との関係式を用いて、噴火湾奥の砂浜海岸で国縫漁港から東、西それぞれ約7 kmに所在する大中漁港と黒岩漁港との沿岸漂砂量を推定し、それから国縫漁港の沿岸漂砂量を定める。そしてそれを用い、島式の国縫漁港背後のトンボロ状堆砂量の成因を推定する。図-7のように突堤で左岸からの沿岸漂砂量 Q_l により生ずる堆積土砂量 V_D 、埋没土砂量 V_S 、侵食土砂量 V_E とすると

$$pQ_l = (V_D + V_S)(1 - \lambda) \dots\dots\dots (1)$$

$$p'Q_l = V_E(1 - \lambda) \dots\dots\dots (2)$$

λ は空隙率で、 Q_l は空隙を含まない土砂量である。 Q_l の

海岸線直角 (X) 方向分布は、様々なパターンがあるが、ここでは USA 大西洋岸の Duck での現地観測のものを参照し (Dean ら, 2002), 図-7 に示すように X_B を汀線から碎波点までの水平距離とすると、 $0.5X_B$ 地点に頂点をもつ二等辺三角形分布と仮定する。係数 p は Q_i のうちで上手側の堆積量や港内埋没量に与する割合で、図中に太線で示した部分とすると、次式で求まる。

$$p = 0.5 \{0.5 + (l/X_B)\}^2 - 0.125,$$

ただし $0 < (l/X_B) \leq 0.5$

$$= 1 - 0.5 \{1.5 - (l/X_B)\}^2 - 0.125,$$

ただし $0.5 \leq (l/X_B) \leq 1.5$

$$= 0.875 \quad \text{ただし } 1.5 < (l/X_B) \dots (3)$$

ここで l としては施設の先端までの距離を採る。ただし、上式は汀線から施設が始まるものとし、それより陸側では沿岸漂砂は移動しているものとする。

p' は Q_i のうちで下手側の侵食に寄与する割合で、 p の一部と考えられる。近藤らは $p' = 0.5p$ として北海道幾つかの海岸の Q_i を推定しているが、ここでは下式を採用する。

$$p' = p \sin \alpha_b \dots (4)$$

実海岸では左右両方からの沿岸漂砂 Q_{iL} と Q_{iR} を受けるが、その際の式は以下ようになる。ただし V_s を無視できる場合としている。

$$p_L Q_{iL} = V_{DL}(1-\lambda) \dots (5)$$

$$p'_L Q_{iL} = V_{ER}(1-\lambda) \dots (6)$$

$$p_R Q_{iR} = V_{DR}(1-\lambda) \dots (7)$$

$$p'_R Q_{iR} = V_{EL}(1-\lambda) \dots (8)$$

$$V'_L = V_{DL} - V_{EL} \dots (9)$$

$$V'_R = V_{DR} - V_{ER} \dots (10)$$

深浅図などから推定できるのは地形変形量 V'_L , V'_R であり、 p と p' は式 (3) と式 (4) を元に推定するとして、これら式 (5) - (10) の 6 個の代数式から 6 個の未知数 Q_{iL} , Q_{iR} , V_{DL} , V_{DR} , V_{EL} , V_{ER} を解くことになるので、解が得られる。 Q_i と V の単位は 1 年当りに統一する。

(2) 計算結果と国縫漁港についての推定

上の式を大中, 黒岩漁港に適用し、深浅図から V を求め、計算した漂砂量 Q_{iL} , Q_{iR} を表-1 に掲げる。

国縫漁港付近の沿岸漂砂量は Q_{iL} , Q_{iR} のそれぞれの上手側の値をもとに、北向に $15,000 \text{ m}^3/\text{y}$, 南向に $5,000 \text{ m}^3/\text{y}$ と推定される。

(3) 堆積土量と沿岸漂砂量の関係

この沿岸漂砂量 $20,000 \text{ m}^3/\text{y}$ が国縫漁港を通過する際の港周辺における堆積土量を上式を用いて推定すると、南側に $V'_R = 3,200 \text{ m}^3/\text{y}$, 北側に $V'_L = 300 \text{ m}^3/\text{y}$, 計 $3,500 \text{ m}^3/\text{y}$ となる。一方、港背後水面を通過する沿岸漂砂量は約 $18,000 \text{ m}^3/\text{y}$ と推算される。2. で示したよう

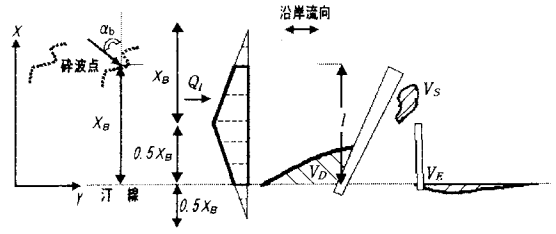


図-7 片方向からの沿岸漂砂量と地形変化量

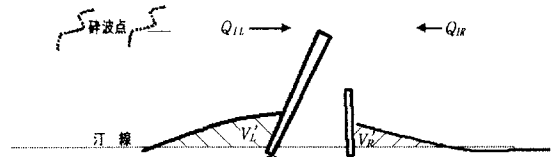


図-8 両方向からの沿岸漂砂量と地形変化量

表-1 国縫周辺の沿岸漂砂量

漁港名(観測期間)		大中(1990-99)	黒岩(1987-90)	国縫
沿岸漂砂量 (m ³ /y)	Q_{iL}	5,000	2,000	5,000
	Q_{iR}	18,000	15,000	15,000
	Q_{iG}	23,000	17,000	20,000
	Q_{iN}	13,000	13,000	10,000

に、実測された堆積土量は約 $5,000 \text{ m}^3/\text{y}$ であるから、残りの $1,500 \text{ m}^3/\text{y}$ はこの通過漂砂量の一部と考えられる。このことからグロスの沿岸漂砂量 $20,000 \text{ m}^3/\text{y}$ の過半は、港の背後水面と陸上を通過していると推測される。そしてそれを可能にしているのは、背後の水域と陸上が自然のままに残されていることに依る。

4. 移動床模型実験について

(1) 実験条件

実験施設は平面水槽 (24 m × 24 m × 0.7 m) を使用した。造波装置は多方向不規則波スネーク型造波機 (幅 17.25 m) を使用した。縮尺は 1/80 (歪みなし) とした。移動床範囲は汀線方向 1.4 km, 沖方向 0.9 km で水深 -9 m まで再現した。底質材料は中央粒径 0.11 mm, 比重 2.60 を使用した。

(2) 予備実験

予備実験は漁港建設前 (1984.6) の地形に漁港を配置し行った (図-9)。

移動床模型実験においては、沿岸漂砂等を考慮した長期的な地形変化を再現することは難しい。そこで波浪による岸沖漂砂の短期的な地形変化の再現を主眼とした。

予備実験の設定条件は、多方向不規則波波高 $H_m = 2.9 \text{ cm}$ ($H_b = 2.3 \text{ m}$), 周期 $T_m = 0.78 \text{ s}$ ($T_b = T.7.0 \text{ s}$) (1年確率波), 波向 N116° E, 造波時間 18 時間, 水位 H.W.L. + 2.0 cm (+1.6 m) とした。

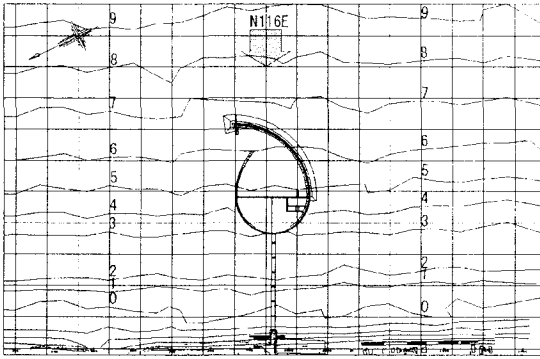


図-9 予備実験模型配置図(1984.6地形)

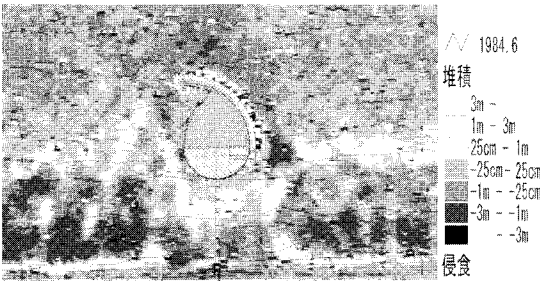


図-10 予備実験地形変化図(18時間後)

予備実験の地形変化図を図-10に示す。沖に漁港の一部が建設された1989.8から1990.9までの地形変化との再現性を比較すると、汀線から沖にかけての海浜断面変化の傾向、強い循環流の発生を証明する港背後水域の舌状砂州の形成傾向が類似した。

予備実験の実験波について海浜断面変形の観点から論じてみる。Dean (1973) による底質の無次元沈降時間パラメーター値 F (式 (11)) と堀川ら (1975) による波形勾配、粒径波長比及び海底勾配で決定されるパラメーター値 C (式 (12)) を、現地、今回実験、並びに国縫漁港建設前に行われた1985年の移動床模型実験(規則波)についてそれぞれ比較してみた(表-2)。

$$F = H_0/wT \dots\dots\dots (11)$$

$$C = H_0/L_0(d_{50}/L_0)^{-0.67}(\tan \beta)^{0.27} \dots\dots\dots (12)$$

w は沈降速度で、 H_0 、 L_0 は入射波の沖波波高と波長で、 $\tan \beta$ は海底勾配である。その結果を見ると、1) 現地1年確率波では計算でいずれも侵食性を示したが、現地未超過確率90%波では侵食性及び中間型を示し、いずれの模型実験とも近い傾向を示した。2) 現地の1989.8から1990.9の地形変化は中間型に近い海浜断面変形となっている。3) 今回の予備実験の断面変形は中間型に近い形状を示している結果となった。4) 今回実験と1985年の実験

と比較すると海浜断面変形を示す値はほぼ同じ傾向を示した。

表-2 海浜断面変形の比較

	現 地	現 地	今回実験	1985年実験
波高(cm)	230	80	2.9	5.7
周期(s)	7	8	0.78	1.1
波浪諸元	1年確率波	未超過確率90%	不規則波	規則波
底質粒径(cm)	0.022	0.022	0.011	0.022
底質比重	2.7	2.7	2.6	2.6
海底勾配	1/80	1/80	1/80	1/80
縮尺	1/1	1/1	1/80	1/100
Dean	15.5(侵食性)	4.5(侵食性)	3.6(侵食性)	2.4(侵食性)
堀川ら	47(侵食型)	15(中間型)	4.1(中間型)	4(中間型)

(3) 本 実 験

本実験は最近(2002.8)の地形を再現し(図-11)、地形変化及び流速ベクトル分布の確認をした。予備実験と同一条件での地形変化図をみると、海浜断面変化は予備実験に比べて少なく、舌状砂州部についても砂移動が少ない結果となった(図-12)。これは、地形が平衡状態に近いことを示す。この状況は海浜断面変化を起こす岸沖方向の流れ及び強い循環流が発生していないと推測される。

また、同一波浪条件で流況の測定を行い流速ベクトル

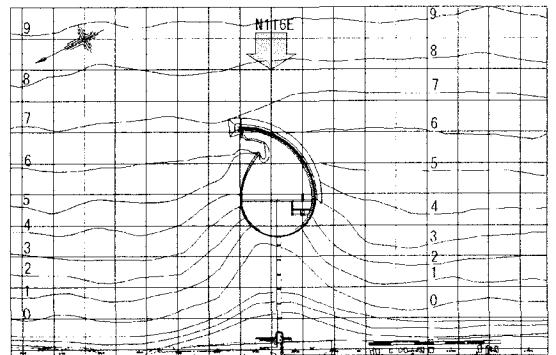


図-11 本実験模型配置図(2002.8地形)

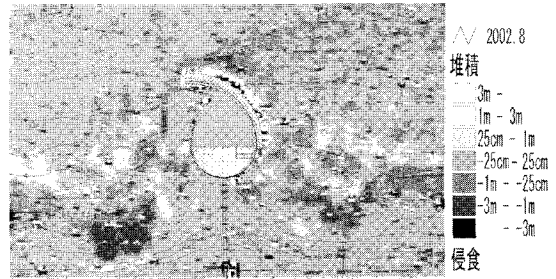


図-12 本実験地形変化図(18時間後)

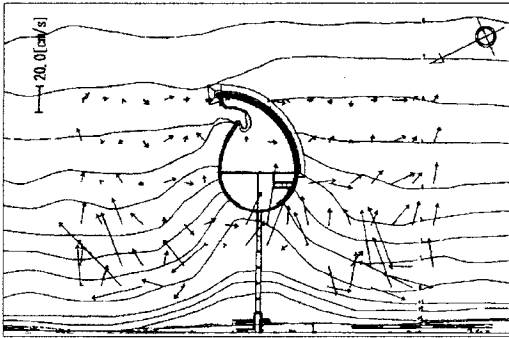


図-13 流速ベクトル分布図(現港形)

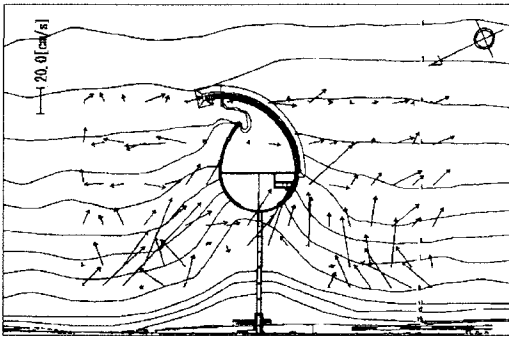


図-14 流速ベクトル分布図(主防波堤30m延伸)

分布の確認した。その結果、漁港北側では循環流の発生は明らかでないが、漁港南側では循環流の発生が確認された。要因として、卓越している北向きの漂砂は漁港により一部阻害され、漁港南側は堆積傾向を示していると考えられる。その結果、2002.8の地形で行った模型実験においては漁港南側で地形が波浪との関係で平衡状態ではないため、循環流が発生したと推測される(図-13)。

次に、同一波浪条件で主防波堤(東防波堤)を30m延伸した場合について地形変化及び流速ベクトル分布の確認をした。地形変化では副防波堤(北防波堤)付近に現況と違い堆砂傾向が見られた。また、流速ベクトルの分布では漁港北側に新たに循環流が発生することが判明した(図-14)。

5. 結 論

本研究における結論として以下に挙げる。既往資料及び沿岸漂砂量の推定により、1)漁港建設による沿岸漂砂

の一部阻害は過去の地形変化により確認できる。2)漁港完成後11年間の舌状砂州を含む範囲の堆積土量は約 $5,000 \text{ m}^3/\text{y}$ である。3)沿岸漂砂による防波堤の両側の堆積土砂量は $3,500 \text{ m}^3/\text{y}$ 、通過漂砂量約 $18,000 \text{ m}^3/\text{y}$ と推定された。堆積土砂量は実測土量 $5,000 \text{ m}^3/\text{y}$ の約70%であり、残りの $1,500 \text{ m}^3/\text{y}$ は通過漂砂量の一部である。従って本港の沿岸漂砂量の過半は、港背後を通過していると推定される。4)移動床模型実験により、最近の地形は平衡状態に近く地形変化が少ないことが確認できた。しかし、流速ベクトル分布から、漁港南側では依然として舌状砂州を助長する状況が判明した。5)主防波堤(東防波堤)を30m延伸した場合は漁港北側での堆砂傾向を助長することが判明した。

以上により、沿岸漂砂が多くない海域の島式漁港は背後水域と陸上での沿岸漂砂の通過性の維持を前提として、沿岸漂砂の連続性の保持に一定の効果を発揮していることが示された。一方で、移動床模型実験により漁港建設による沿岸漂砂の一部阻害が舌状砂州の形成を助長する状況も確認されたため、国縫漁港の地形変化の推移については今後も継続的に調査していくことが望ましい。また、主防波堤の延伸は漁港北側での堆砂傾向を助長する傾向が示されたため、延伸を行わないのが妥当と判断した。

参 考 文 献

- 鎌田 彰(1996)：島式漁港の建設と海浜変形－国縫漁港における事例，水産土木技術者のための施工技術参考資料，第12号，pp. 1-26。
- 管和哉・嵯峨山積・楡垣直幸(1997)：北海道沿岸域の地質・底質環境-1-太平洋西海域，地下資源調査所調査研究報告，28号。
- 岸 弘達・神原一雄・長野 章・氏井健一・佐々木崇之(2000)：沿岸漂砂系の中に建設された島式漁港とその評価，海工論文集，第47巻，pp. 571-575。
- 近藤俊郎・川森 晃(2005)：北海道沿岸の漂砂環境要因の推定，土木学会北海道支部論文集，61，II-35。
- 北海道開発局土木試験所(1967)：内浦湾海岸浸食成因調査報告書
- 北海道(2000)：島式漁港ワークショップ in 国縫会議録，(財)漁港漁村建設技術センター。
- 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田 滋(1975)：波による二次元汀線変化に関する一考察，第22回海講論文集，pp. 329-334。
- 山本明宏・沼田辰巳・柏葉導徳(2005)：漂砂移動床模型実験の有効性について－国縫漁港における事例，土木学会北海道支部論文集，61，II-36。
- Dean,R.G.(1973)：Heuristic model of sand transport in the surf zone, Proc.Conf.of the symposium on modeling technique, pp. 208-215。
- Dean,R.G. and R.A.Dalrymple(2002)：Coastal process with engineering applications, Cambridge Univ. Press。