

北海道沿岸の漂砂要因の推定

Estimation of littoral drift factors in the coasts of Hokkaido

(株) 沿岸圏システム研究所 ○フェロー 近藤 俊郎 (Hideo Kondo)
 (株) アルファ水工コンサルタンツ 正会員 川森 晃 (Akira Kawamori)

1. まえがき

砂浜海岸の海岸侵食や港の埋没などの海浜変形を支配しているのは、その海岸の漂砂現象である。しかしながら、漂砂の重要性は認識されていても、海岸侵食や埋没など具体的問題への対応となると、基礎となる定量的なデータが圧倒的に不足していることに気付く。これは漂砂に関する系統的な現地観測が不足していることに起因する。波浪データに基づく数値解析による流れや地形変形の予測計算法は発達したが、データをどのように適用するかによって結果が大きく異なる。やはり現地地形データによる推定が基本になる。

この視点からの北海道沿岸の漂砂問題についての事例研究としては尾崎¹⁾が港による地形変化の特徴などをまとめており、また鴻上ら²⁾は漁港の堆積や埋没要因について詳しく調べている。

本論文ではそれらを参考に漂砂と海浜変形現象を支配する要因を最近の知見から分析し、現地地形変化から沿岸漂砂量などを推定する方法を提案し、その結果を北海道沿岸の代表的な海岸や港について適用したものである。

2. 漂砂問題の要因

ある海岸あるいは港周辺の地形変形量 V_n (侵食土砂量 V_E , 堆積土砂量 V_D , 埋没土砂量 V_S など) を支配するのは、供給土砂量 (沿岸漂砂量 Q_L , 岸沖漂砂量 q_o , 河川流出土砂量 Q_r)、経過時間 t , 波浪諸元 (波高 H , 周期 T , 波向 α)、沿岸流速 U , 海水の諸元 (単位重量 ρ , 粘性係数 μ)、地形地質 (水深 h , 海底勾配 i , 中央粒直径 d_{50} , 密度 ρ_s , 空隙率 λ , 粒子沈降速度 w_f)、重力加速度 g , 施設寸法 l などがある (図-1)。関数的な表示では次式となる。

$$V_n = F(Q_L, q_o, Q_S, H, T, t, \alpha, h, i, d_{50}, \rho_s, \lambda, U, \rho, \mu, g, l) \quad \dots(1)$$

いま基本変数として Q_L, H, ρ を用い、これを次元解析的に表現すれば、

$$[V_n (1-\lambda)/Q_L] = f \{ (q_o H / Q_L), (Q_r / Q_L), (Q_L T / H^3), (t / T), (UT/H), \alpha, (vT/H^2), i, (d_{50}/H), (\rho_s/\rho), (H/Tw_f), (H/L), (h/L), (l_x/H), (l_y/H) \} \quad \dots(2)$$

vT/H^2 は Reynolds 数の一種の逆数に相当する。また H/Tw_f は沈降速度パラメータもしくは Dean 数 と呼ばれる無次元数で、侵食、堆積の指標一つである³⁾。

3. 要因の推定法

漂砂の要因は多数あるが、主要なものは、沿岸漂砂量、岸沖漂砂量、近接河川流砂量、支配波、Dean 数である。

3.1 沿岸漂砂量: Q_L

沿岸漂砂量 Q_L (m^3/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、その海岸の漂砂問題の解明は困難である。ここでは式(1),(2)をもとにして、古くから経験的に行われてきた地形変化 V_n から Q_L を逆算する方法の定式化を試みる。図-1のように小規模な港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

$$p Q_L = (V_D + V_S) (1 - \lambda) \quad \dots(3)$$

$$p' Q_L = V_E (1 - \lambda) \quad \dots(4)$$

Q_L の海岸線直角(x)方向分布は現地観測の成果から³⁾、図-1に示すように X_B を汀線から砕波点までの水平距離とすると、 $0.5 X_B$ 地点に頂点をもつ二等辺三角形分布と仮定する。 p は Q_L のうちで上手側の堆積量や港内埋没量に関与する割合で、図中に太線で示した部分とすると、次式で求まる。

$$p = 1 - 0.5 \{ 1.5 - (l / X_B) \}^2 - 0.125, \text{ ただし } (l / X_B) \geq 0.5$$

$$= 0.5 \{ 0.5 + (l / X_B) \}^2 - 0.125, \text{ ただし } (l / X_B) \leq 0.5 \quad \dots(5)$$

ここでまた l としては施設の先端までの距離を採る。また p' は Q_L のうちで下手側の侵食に寄与する割合で p の一部分と考えられる。

実海岸では左右両方からの沿岸漂砂 $Q_{L,L}$ と $Q_{L,R}$ を受けるが、その際の式は以下ようになる。

$$p_L Q_{L,L} = (V_{DL} + V_{S,L}) (1 - \lambda) \quad \dots(6)$$

$$p'_L \cdot Q_{L,L} = V_{E,R} (1 - \lambda) \quad \dots(7)$$

$$p_R Q_{L,R} = (V_{DR} + V_{S,R}) (1 - \lambda) \quad \dots(8)$$

$$p'_R \cdot Q_{L,R} = V_{E,L} (1 - \lambda) \quad \dots(9)$$

$$V_{L'} = V_{DL} - V_{EL} \quad \dots(10)$$

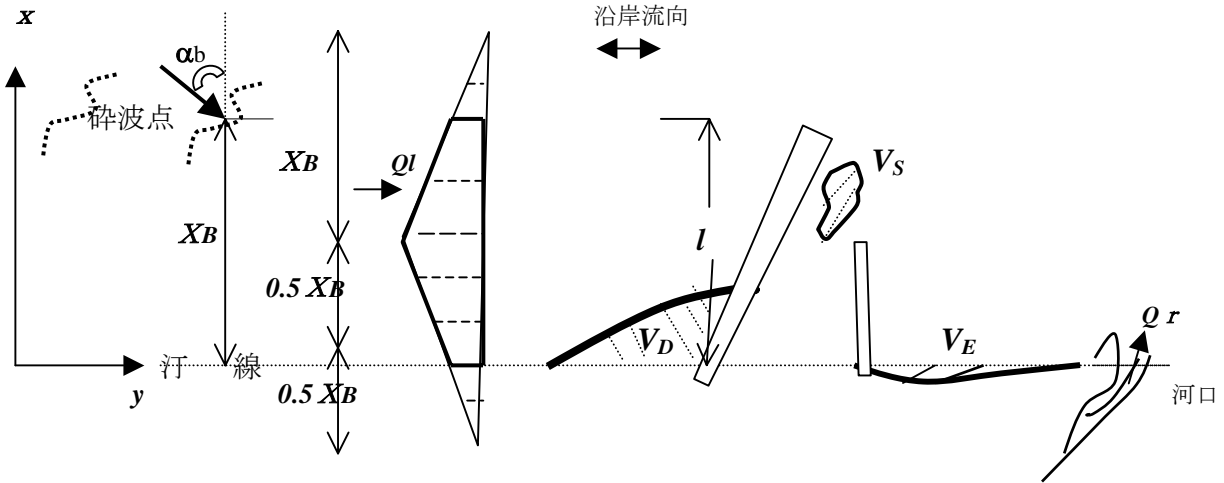


図-1 沿岸漂砂量と地形変形量

$$V_R' = V_{DR} - V_{ER} \quad \dots(11)$$

$$V_{S,L} + V_{S,R} = V_S \quad \dots(12)$$

深浅図などから推定できるのは地形変形量 V_L' , V_R' , V_S であり、 p と p' は式(5)から推定するとして、これら 7 個の代数式から 8 個の未知数 $Q_{L,R}$, V_{DL}, V_{DR} , $V_{S,L}, V_{S,R}$, V_{EL}, V_{ER} を解くことになるので、そのうちの 1 個は推定しておく必要がある。ただし埋没土量 V_S が無視できる単一の防波堤や突堤の場合は、未知数と方程式の数が一致するので、そのまま解ける。 Q_l と V の単位は 1 年当りに統一する。

3.2 岸沖漂砂量: q_o

q_o は x 方向の水深ごとに異なる値をとるので、実測により決定することは困難で、理論的に推定される。幾つかの理論式が提案されているが⁴⁾、現段階では確たるものがない。本論文では対象外とした。

3.3 河川流出土砂量: Q_r

河川流出土砂の一部は沖合に輸送されるが、大部分は沿岸漂砂となる。しかし河口流出土砂量 Q_r が解っている河川は少ない。北海道については山本ら⁵⁾が日高・胆振の河川について、また山下らが石狩川⁶⁾と尻別川⁷⁾について年平均の Q_r を推定している。これらの推定値は、いわゆる Wash Load にあたる微細粒径成分を除いたものである。これに対して文献 18) に示されている Q_r は、それを含む値となっているせいか、過大な値と判断されたのでここでは採用していない。ここで Q_r を年平均流出土砂量 (m^3/y) として、データが整っている流量のみの関数と仮定し、 Q_r を年最大流量の平均値 $Q_m (m^3/s)$ との関係で指数関数式で推定し、下式が得られる。

$$Q_r = 17.5 Q_m^{1.21} \quad \dots(13)$$

$$\text{ただし } 100 \leq Q_m \leq 3500 \text{ (} m^3/s \text{)}$$

3.4 波: 漂砂現象を支配する基本要因は波である。沿岸漂砂量の推定理論式は $(Ec_g)_b$ を碎波点の波パワーとして、その単位海岸線長さ当りの成分から、下式で与えられる。

$$Q_l = A / \{ \rho g (1 - (\rho_s / \rho)) \} (Ec_g)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

$$= [(A/16) / (1 - (\rho_s / \rho))] H_b^2 (g h_b)^{1/2} \sin 2 \alpha_b \quad \dots(14)$$

ただし A は主として粒径による係数で、0.2~1.4 をとる⁴⁾。

これより Q_l を支配するのは H_b, h_b の元である H, T とに波の入射角 α である。特に $\alpha_b = 45^\circ$ で Q_l が最大値ることから、 $\alpha < 45^\circ$ と $\alpha > 45^\circ$ の波による海岸線方向の沿岸漂砂量分布が異なり、地形変化の形が異なる。図-1 に示すように沿岸漂砂がある海岸に港のような施設ができると、漂砂の進行が阻止されてその上手に堆積が生ずる。 $\alpha < 45^\circ$ の場合は上手の汀線が長い距離に渉り斜めに前進する。それに対して $\alpha > 45^\circ$ (High Angle Wave) の場合は、防波堤沿いに沖合に急角度に前進する地形になり易い⁸⁾。

以上のことを考慮して、海岸の左右両岸からの代表波として、年最大有義波をとることにする。表-1 に示す代表波は漁港について推定されている資料⁹⁾ データによる沖波(深水波)の諸元 (H, T, α_o) それより推定した H_b, h_b, α_b を示している。

3.5 沿岸流向

沿岸流は常時は海流、潮流によって定まるが、一般的にその流速は小さく、海底地形に及ぼす影響は小さい。海浜変形に影響するような漂砂が活発な大波浪時には、沿岸流速が大きく、その流向は波向によって定まる。

表-1 には常時の沿岸流の流向(流れ去る方向)を、夏冬について左右方向で示してある。

3.6 Dean 数: Ω

前述した Dean 数 Ω は下式で定義される。

$$\Omega = H / T w_f \quad \dots(15)$$

$\Omega < 1$ で堆積性、 $\Omega > 3$ で侵食性の海岸であることが知られており⁴⁾、またある期間の前後の波浪変化による Ω 値の大小によって、侵食から堆積、あるいは堆積から侵食に変わることが認められている¹⁰⁾。

砂粒子沈降速度 w_f の推定には、種々の式があるが本文

では Jimenez-Madsen (2003)¹¹⁾ の下式を用いている。

$$w_f = \{[(\rho_s/\rho)-1] g d_{50}\}^{1/2} / \{A + (B/S^*)\} \quad \dots(16)$$

ただし $S^* = (d_{50} / 4\nu) \{[(\rho_s/\rho)-1] g d_{50}\}^{1/2}$, $A = 0.954$, $B = 5.12$.

H と w_f は水深によって異なる値をとるのでどの水深を採用するかを決めておく必要がある。ここでは砕波水深における値とする。すなわち Ω として下記をとる。

$$\Omega_b = H_b / T w_f \quad \dots(15a)$$

3.7 その他の要因

相対水深 h/L や波形勾配 H/L の影響については従来の知見があてはまるが、 h/L については砕波点での値に着目し、 H/L については Ω によってかなり表現されていると理解すべきである。

4. 結果と考察

北海道の9沿岸区域のうち、檜山後志区域を除く8地区の13海岸についての要因を表-1に示す。沿岸漂砂量 Q_i は殆どの場合 $p' = 0.5p$ を採用して推定した。白老、厚内など大平洋に面する海岸が大きく、ついで日本海岸の天塩であるが、いずれも20万 m^3 以下であり、日本の中の外洋に面する海岸としては決して大きくはない。理由は波の大きさの違いである。このこともあって河川流出土砂量 Q_r が、 Q_i に占める割合がかなり高いは注目される。来襲波の諸元で注目されるのは、構内埋没で著名な浜鬼志別、標津、鶴川、落部などの漁港は、 Q_i がさほど大きく無いことに着目すると波の入射角が大きい High Angle Wave の作用で埋没され易い。Dean 数による判別では標津漁港を除く殆どの海岸が $\Omega_b > 5$ で堆積性ではない。

5. むすび

新海岸法施行により海岸の環境保全が一層重視されているが、砂浜海岸については、最重要な環境である漂砂についての理解が基本である²⁴⁾。漂砂に関する現地問題は複雑であり、容易に判ることは少ない。それぞれの現場で地形変化や波の観測データを継続的に取得し、系統的に整理しておくことが現象の正しい理解への唯一の道である。

ここで推定されている沿岸漂砂量などは正確なものとは言えず、大まかな数値である。ここで扱われていない海岸を含め、推定精度を高めたいと願っている。その意味で本論文への忌憚ないご批判、討議を頂くことを期待する。謝辞：本論文執筆に際し、多くの方々から頂いたご協力に感謝する。特に北海道所管の漁港関係の資料収集について格段のご支援を頂いた北海道水産林務部漁港漁村課の柏葉 導徳主幹と沼田 辰巳主査に深謝する。

参考文献

- 1) 尾崎 晃：会長退任記念論文集、寒地港湾技術研究センター、2000。
- 2) 鴻上雄三、得永道彦、松井弘夫：北海道の漁港における漂砂問題とその対策について、開発局土木試験所月報、232, pp.1-25, 1972。
- 3) Dean, R. G. and R. A. Dalrymple: Coastal Process with Engineering Applications, Cambridge Univ. Press, 2002。
- 4) 土木学会海岸工学委員会編：海岸施設設計便覧、2000。
- 5) 山本 徹、吉澤 良、黒木幹男、板倉忠興：胆振日高海岸における海浜変形と流域の土砂生産に関する研究、海岸工学論文集、45, pp.621-625、1998。
- 6) 山下俊彦、新山雅紀、菅沼 剛、早川哲也：石狩川から供給された粒径別土砂の河口沿岸域での堆積特性と土砂収支の試み、海岸工学論文集、47, pp.676-680, 2000。
- 7) 山下俊彦、松本光矢、伊藤祐一郎、清水康行、古路一哉：尻別川の粒径別流出土砂特性と河口沿岸域での土砂収支の試み、海岸工学論文集、48, pp.640-650、2001。
- 8) Ashton, A., B. Murray and O. Arnault: Formation of coast line features by large scale instabilities by high angle waves, Nature, 414, pp.296-300, 2001。
- 9) 北海道水産林務部漁港漁村課：北海道漁港別沖波諸元(案)、2004。
- 10) Ahren, J.P., J.M. Smith and E.B. Hands: Role of Antecedent Wave Conditions in Predicting Beach Erosion and Accretion, Shore & Beach, 70-1, pp.3-7, 2002。
- 11) Jimenez, J.A and O.S. Madsen: A Simple Formula to Estimate Settling Velocity of Natural Sediments, Jr. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, 129-2, pp.70-78, 2003。
- 12) 川森 晃：北海道オホーツク海沿岸感潮湖沼の湖口海浜過程の研究、室蘭工科大学院博士論文、1993。
- 13) 釧路開発建設部：釧路西港調査報告書、1964。
- 14) 帯広土木現業所：厚内漁港検討委員会報告書、1996。
- 15) 北海道水産林務部漁港漁村課：4. 鶴川漁港、漁港実驗年報(平成12年度)、29, pp.4-144, 2001。
- 16) 近藤一郎、藤間 聡：南西北海道太平洋沿岸の気象・海象・海岸過程、水文水資源学会誌、8-4, pp.410-418, 1995。
- 17) 浦島三朗、近藤一郎、川森 晃：胆振海岸の海浜変形特性に関する考察、土木学会道支部論文集、59, pp.450-451。
- 18) 鴻上雄三ほか：内浦湾における海岸侵食の現況とその成因について、開発局土木試験所報告、43、1967。
- 19) 鎌田 彰：島式漁港の建設と海浜変形—国縫漁港における事例、土木学会道支部論文集、51, pp.316-321。
- 20) 北海道：島式漁港ワークショップ in 国縫 12th July 2000, 2000。
- 21) 小樽開発建設部小樽港建設事務所：石狩湾沿岸の漂砂について、1973。
- 22) 古谷浩三、松山方彦：天塩川河口について、開発局土木試験所月報、107, 1967。
- 23) 谷野賢二：振り子式波浪エネルギー変換装置の設計法に関する研究、開発土木研究所報告、97, pp.1-48, 1967。
- 24) 近藤一郎、佐伯 浩、佐々木幹夫、佐藤幸雄、水野雄三：海岸工学概論、森北出版、2005。

表-1 漂砂環境要因 (北海道沿岸)

沿岸区域	海岸 / 港	沿岸漂砂量		近接河川、 流出土砂量 Q_r (1000m ³ /y)	年最大有義波		年平均波 パワー: W (kW/m)	沿岸流の 主流向		海底勾配: 5m 以浅 / 15m 以浅	中央粒径 d_{50} (mm)	沈降速度: w_f (cm/s)	DEAN 数 $Hb/T w_f$	出典
		Q_l (1000m ³ /y)	Q_r (1000m ³ /y)		L	R		冬	夏					
北見	浜鬼志別	10	20	L 鬼志別川	2.5 / 6.7 / 45	4.0 / 8.3 / 23	4	R	R	1/80 1/100	0.5	5.5	9	
	サロマ湖口	30	40	L 湧別川 30*	3.6 / 7.5 / 18 3.6 / 5.0 / 18	4.4 / 8.8 / 30 4.6 / 6.5 / 15	5	R	R	1/80 1/100	1.0	10.6	5	12)
根室	標津	20	小	L 標津川 12	3.7 / 7.5 / 63 2.9 / 5.7 / 31		2	R	R	1/80 1/120	2.0	17.0	2	2)
十勝釧路	釧路港西	20	50	R 阿寒川 20	3.0 / 10 / 22 3.5 / 4.8 / 9	4 / 9 / 22 4.3 / 6 / 11	5	L	L	1/80 1/250	0.13	0.8	59	13)
	厚内	120	150	R 厚内川	4 / 8.5 / 34 4.1 / 8.6 / 17	5 / 10 / 22 5.4 / 7.6 / 10	6	L	R	1/60 1/200	0.2	1.7	28	14)
日高胆振	荻伏	10	5	L 元浦川 12	5 / 9.4 / 45 4.9 / 6.7 / 22	6 / 8 / 45 3.5 / 4.8 / 22	5	L	R	1/50 1/110	0.2	1.7	31	
	鵠川	45	30	R 鵠川 14	4.4 / 8.5 / 45 4.8 / 5.8 / 23	3.4 / 4.1 / 12 3.4 / 4.1 / 12	4	L	R	1/100 1/250	0.15	1.1	51	5), 15)
	白老	200	100	L 白老川 7	4.5 / 9 / 23 4.8 / 6.7 / 11	3.0 / 7.5 / 45 2.9 / 4 / 20	6	L	R	1/50 1/150	0.2	1.7	31	5), 16), 17)
渡島東	国縫	20	25	R 国縫川	2.3 / 8 / 5 2.7 / 3.7 / 0	2.3 / 11 / 5 3.1 / 4.2 / 0	2	R	L	1/60 1/140	0.2	1.7	17	18), 19), 20)
	落部	12	4	L 落部川	1.3 / 4 / 58 1.1 / 1.5 / 30	2.2 / 6.6 / 10 2.5 / 3.4 / 4	1	R	L	1/40 1/130	0.2	1.8	21	
渡島南	函館港西	小	5		3 / 7.5 / 12 3.3 / 4.6 / 1	3.2 / 8 / 33 3.4 / 4.6 / 15	1	R	L	1/70 1/120	0.15	1.0	43	
石狩湾	新港東	40	80	R 石狩川 300	3 / 7 / 22 3.1 / 4.3 / 12	4 / 8 / 22 4.2 / 5.9 / 10	5	L	R	1/50 1/120	0.1	0.5	105	6), 21)
天塩	天塩川河口	160	60	天塩川 110*	3.5 / 8 / 22 3.7 / 5.2 / 10	3 / 7.5 / 22 3.1 / 4.4 / 10	7	R	R	1/50 1/140	0.12	0.7	66	22)

註: 1) L,R の記号は左岸、右岸の意味; 2)河川名の左の記号はその海岸からみた河口の位置. 流量の後の*印は式(13)による計算値; 3) 年最大有義波で太字は卓越波向のもの; 4)沿岸流向は流れ去る方向; 5) 年平均波パワーは文献 23)ほかによる.