

沿岸漂砂量, 波による地形変化の限界水深および波候特性の関係

RELATIONS AMONG WAVE CLIMATE, LONGSHORE SAND TRANSPORT RATE AND CLOSURE DEPTH

宇多高明¹・芹沢真澄²・熊田貴之³・加留部亮太⁴・三浦正寛⁵

Takaaki UDA, Masumi SERIZAWA, Takayuki KUMADA, Ryota KARUBE and Masahiro MIURA

¹正会員 工博 国土技術政策総合研究所研究総務官(〒305-0804茨城県つくば市旭1)

²正会員 海岸研究室(有)(〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉208号)

³学生会員 工修 日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻(〒274-8501 船橋市習志野台7-24-1)

⁴日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻(同上)

⁵日本大学工学部海洋建築工学科(同上)

Relations among the wave climate, longshore sand transport rate and the closure depth were investigated based on longshore sand transport rate and the closure depth measured at many coasts in Japan, and wave data measured by NOWPHAS. A relationship $h_c = 3.64H_{95}$ was derived by the regression analysis, where h_c is the closure depth and H_{95} is the wave height of 95% probability of occurrence. Absolute value of longshore sand transport rate was expressed by $|Q| = 1.97 \times 10^4 H_{95}^{5/2}$.

Key Words : wave climate, closure depth, longshore sand transport rate, NOWPHAS

1. まえがき

我が国沿岸では海岸保全などを目的とした深浅測量が過去数十年にわたり行われるとともに、波浪観測網の積極的な展開によって海浜変形やそれを引き起こす外力である波浪データがかなり高い密度で集積されてきた。これらのうち海浜変形など漂砂関連のデータについて筆者の一人は全国データの集積および分析を行い、例えば波の作用下で有意な地形変化が見られなくなる限界の水深(波による地形変化の限界水深)や沿岸漂砂量などの全国実態を明らかにした¹⁾。このように海浜変形に関する現地データの集積はかなり進んできたが、それらと波浪データとの突き合わせ分析はなお不十分であり、波浪データからこれらの値の推定法については十分明らかでないのが現状である。このことから、本研究は、この点を明らかにすることを主な目的とする。

海浜変形特性を全国レベルで眺める場合に必要となる波浪条件は、海域の波浪特性を代表するという意味から波候特性として整理されたものが望ましい。この種のデータとして全国を網羅し、かつ観測期間が十分長いも

のに旧運輸省による波浪観測網で測定されたNOWPHAS波浪データがある。本研究ではこのデータを用いると同時に、宇多¹⁾に集約されている、波による地形変化の限界水深や漂砂の移動高、さらには沿岸漂砂量と波浪データとの関係を調べ、波候特性からこれらの値を推算する方法について検討する。

波による地形変化の限界水深は、各種漂砂制御施設の設計においてそれらの先端水深を定める上で有効な判断材料となるが、その値を求めるには海浜縦断形の比較を行う必要があることから、一般に少なくとも過去数年間にわたって集積された深浅測量データが必要である。しかし海浜縦断形が経年的に測量されていない場所で各種構造物の設計を行わなければならない場合には、別の方法による限界水深の推定法が必要となる。これには、底質中央粒径(d_{50})の水深分布において、汀線付近での粗な粒径が水深の増加とともに減少し、波による地形変化の限界水深付近では0.2mm程度で水深によらず一定となることを利用する手法と、波候特性から推定する方法などが考えられるが、これらを経験的手法に基づいて提案することが本研究の目的である。

2. 沿岸漂砂量等の全国実態

(1) 沿岸漂砂量の全国実態

宇多¹⁾は、全国57海岸と4湖岸の地形変化を実態データに基づいて検討し、各海(湖)岸の沿岸漂砂量を算出した(文献¹⁾の表6.1.1, p.415)。沿岸漂砂量の算定が可能な海岸数は29、湖岸は3、合計で32であった。なお波の遮蔽構造物が伸ばされたためその背後域で土砂が堆積する場合防波堤が大きく伸びた直後に沿岸漂砂量は大きく、時間経過とともに沿岸漂砂量は減少するから、文献中の表6.1.1では観測期間中で最も大きな沿岸漂砂が観測された時期を選んでいる。一方、既往の研究^{2)~6)}による沿岸漂砂については、5海岸での沿岸漂砂量の算定が行われている(文献¹⁾の表6.1.3, p.417参照)。

具体的な漂砂量については省略するが、一般的に外海・外洋に面した海岸での沿岸漂砂量は $10^5\text{m}^3/\text{yr}$ のオーダーである。しかし、富津岬、石巻湾、鈴鹿川河口部など半島などにより波が遮蔽されている海岸での沿岸漂砂量では $10^4\text{m}^3/\text{yr}$ のオーダーとなる。また御座海岸など著しく波が遮蔽された海岸では $10^3\text{m}^3/\text{yr}$ のオーダーとなるが、この沿岸漂砂量は規模の大きな湖である琵琶湖での値と同じオーダーである。さらに規模の小さな湖では $10^2\text{m}^3/\text{yr}$ の沿岸漂砂量を有している。

(2) 波による地形変化の限界水深の全国実態

波の作用による底質の移動限界の算定では、従来から移動限界水深が広く使われてきている。移動限界水深は、底質の比重、中央粒径、波高・周期に依存する。いま底質の比重と中央粒径が一定としても、現地海岸の波浪は不規則波であるために波高・周期は大きく変動し、したがって移動限界水深はこれらの波浪条件に依存して変化することになる。しかしながら例えば漂砂移動を阻止するための突堤や防波堤の先端水深の設計などにおいては、ある期間(数年以上と比較的長い期間)を通じて平均的に見たとき、工学的に有意な地形変化が見られなくなる限界の水深が必要となる。そこで、本研究ではこの水深のことを波による地形変化の限界水深(h_c)と定義する。 h_c は、繰り返し行われた深淺測量データをもとにした海浜縦断形比較から定めることができる。宇多¹⁾の表6.2.1(p.418)には h_c の一覧を示す。また表6.2.2(p.418)には、既往の研究^{2),6)~10)}で求められている h_c も示してある。詳細なデータについてここでは論じないが、一般に外海・外洋に面した海岸における h_c は10m程度であり、内海では2~3m、さらに湖では1m程度となる。

3. 各変数間の相互関係

(1) 波浪データと h_c の関係

旧運輸省の波浪観測網で測定されたNOWPHAS波浪データでは、図-1に示すように全国40地点での波浪データから有義波高について0~2.0mでは0.25m間隔で、2.0~7.0mでは0.5m間隔で、さらに7.0m以上の波高では1.0m間隔で波浪の出現回数が見られている。そこで、このデータをもとに未超過確率がそれぞれ50, 80, 90, 95, 98%に相当する有義波高を整理した。相対的に高波高を選んだのは、海浜変形が、出現頻度は高いがエネルギーレベルの低い波高よりも、出現頻度はそれほど高くないがエネルギーレベルの高い波浪により主として支配されていると考えたためである。

h_c が求められた地点のうち近傍に上述の波浪観測点が存在する場合を取り出すと表-1となる。全体では14地点となる。表-1には、対応する波浪観測地点の5種類の未超過確率波高を示すとともに、波浪データの統計期間も示す。波浪統計期間は平均で約12年である。一方、選定された h_c は3~15mのレンジを有している。

図-2には h_c の算出地点を示す。また表-1をもとに、 h_c と未超過確率波高の関係を調べた。まず、図-3(a)~図-3(e)には h_c と5種類の未超過確率波高の関係を示す。また、表-2には相関係数をまとめている。それぞれの相関図を見ると、未超過確率50%波高では相関が明らかに低いが、未超過確率が增大するにしたがい相関係数は次第に上昇し、未超過確率90%ないし95%波高において相関係数は最大の0.81となる。一般に、出現頻度の非常に低い高波浪になれば欠測の可能性が高くなって統計データの信頼性も低下すること、また未超過確率98%波高と95%波高と同様に高い相関係数が得られたことから、ここでは未超過確率95%波高(H_{95})を代表として選ぶことにする。この場合 h_c は相関係数0.81で次式により表される。

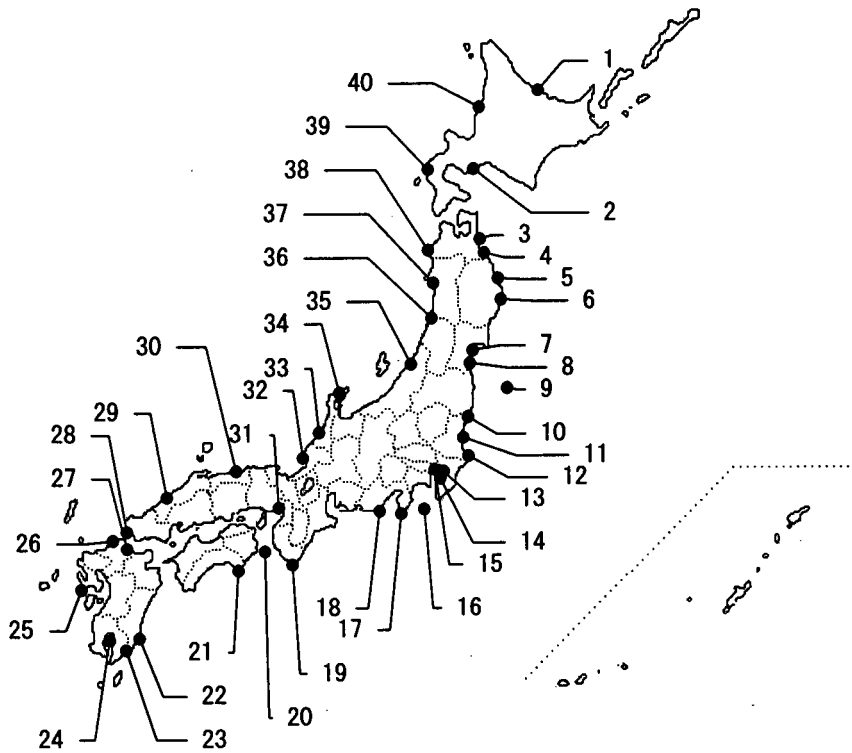
$$h_c = 3.64H_{95} \quad (1)$$

このように h_c が未超過確率95%というかなり出現頻度の低い波高と高い相関を有し、未超過確率50%波高などのように出現頻度の高い波高との相関が低いことは注目される。なぜなら、ある期間(数年以上と比較的長い期間)を通じて平均的に見たとき、工学的に有意な地形変化が見られなくなる限界の水深と定義した h_c が、通常時の波浪ではなく高波浪時の波によって強く支配されていることを示しているからである。

(2) h_c と沿岸漂砂量の関係

宇多¹⁾は、全国の海岸での実測データをもとに、 h_c と沿岸漂砂量の絶対値 $|Q|$ に関して次式の関係が成立することを示した。

$$|Q| = 780h_c^{5/2} \quad (2)$$



番号	波浪観測所の名称	番号	波浪観測所の名称	番号	波浪観測所の名称
1	紋別	15	第二海堡	29	浜田
2	苫小牧	16	波浮	30	鳥取
3	むつ小川原	17	下田	31	神戸
4	八戸	18	御前崎	32	福井
5	宮古	19	潮岬	33	金沢
6	釜石	20	御坊沖	34	輪島
7	仙台新港	21	宝津	35	新潟沖
8	相馬	22	宮崎	36	酒田
9	いわき沖	23	志布志	37	秋田
10	小名浜	24	鹿児島	38	深浦
11	常陸那珂	25	伊王島	39	瀬棚
12	鹿島	26	玄海灘	40	留萌
13	浜金谷	27	荻田		
14	アシカ島	28	藍島		

図-1 全国の波浪観測所

表-1 NOWPHAS波浪データによる未超過確率波高, 波による地形変化の限界水深, 漂砂の移動高の一覧

波浪観測所	統計年月	波高					限界水深 (m)	漂砂の移動高 (m)	海岸名称
		50%	80%	90%	95%	98%			
苫小牧	13ヵ年	0.64	1.08	1.45	1.83	2.38	6	6.7	北海道日高海岸
むつ小川原	21ヵ年	0.89	1.48	1.96	2.47	3.19	8	11	青森県三沢海岸
仙台新港	16ヵ年	0.71	1.11	1.41	1.71	2.19	8	6.1	宮城県石巻湾沿岸
いわき沖	4ヵ年	1.47	2.18	2.70	3.26	4.13	9	11	福島県北部～宮城県南部沿岸
相馬	13ヵ年	0.88	1.33	1.66	1.98	2.48	8	-	宮城県仙台湾沿岸
深浦	15ヵ年	0.85	1.95	2.71	3.38	4.20	14	-	秋田県能代沿岸
酒田	22ヵ年	0.91	1.97	2.73	3.40	4.27	15	-	山形県沿岸
鹿島	11ヵ年	1.18	1.83	2.31	2.77	3.38	8	6.1	茨城県鹿島灘沿岸
第二海堡	4ヵ年	0.37	0.47	0.56	0.68	0.76	3	4	千葉県富津岬
新潟沖	6ヵ年	0.71	1.62	2.28	2.87	3.56	8	-	新潟県新潟沿岸
御前崎	7ヵ年	0.68	1.12	1.46	1.80	2.31	3	-	静岡県相良片浜海岸
潮岬	8ヵ年	0.95	1.54	2.03	2.49	3.20	10	-	三重県七里御浜海岸
鳥取	16ヵ年	0.88	1.77	2.40	2.91	3.49	14	-	鳥取県鳥取海岸
宮崎	5ヵ年	0.97	1.64	2.22	2.75	3.49	10	15	宮崎県宮崎海岸

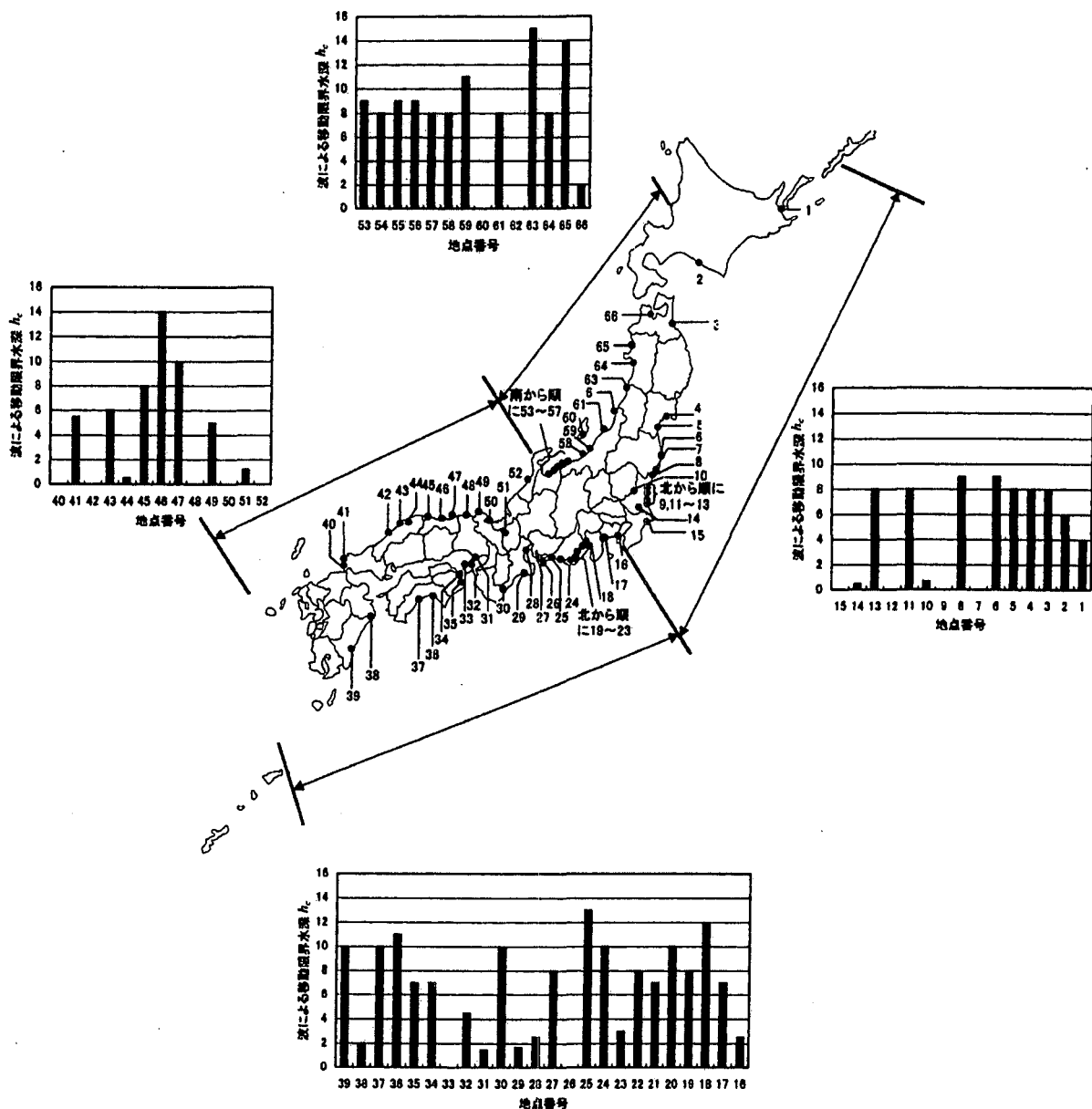


図-2 h_c の算出地点

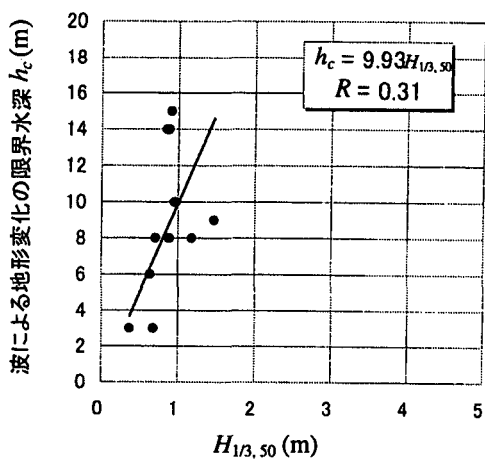


図-3(a) h_c と未超過確率50%波高の関係

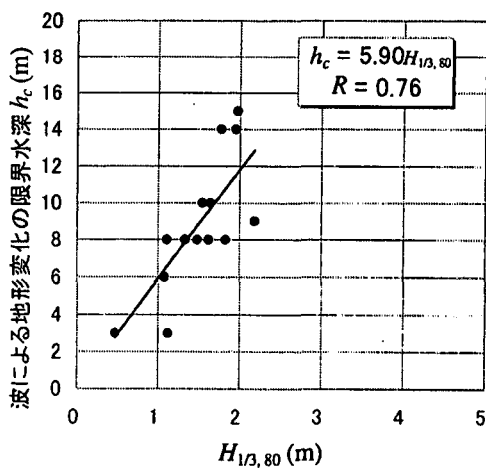


図-3(b) h_c と未超過確率80%波高の関係

表-2 相関係数の一覧

項目	波高未超過確率	相関係数(R)	回帰式
限界水深 h_c (m)	50%波高	0.31	$h_c = 9.93H_{1/3, 50}$
	80%波高	0.76	$h_c = 5.90H_{1/3, 80}$
	90%波高	0.81	$h_c = 4.47H_{1/3, 90}$
	95%波高	0.81	$h_c = 3.64H_{1/3, 95}$
	98%波高	0.80	$h_c = 2.89H_{1/3, 98}$

$$|Q| = 1.97 \times 10^4 H_{95}^{5/2} \quad (3)$$

となる。沿岸漂砂量のオーダーは、未超過確率95%波高の5/2乗に比例する量として与えられる。

4. 現地海岸における沿岸漂砂量の推定手法

宇多ら¹³⁾は底質中央粒径 (d_{50}) の水深方向分布を調べ、海底谷に続くような急勾配海岸を除けば、 d_{50} は汀線付近での粗な値から水深方向に減少し、ある水深を境に水深によらずほぼ一定で、0.15~0.2mm程度の一様粒径に変化することを現地データから示すとともに、この限界水深を粒径変化の限界水深と定義し、この値と波による地形変化の限界水深との関係を調べた。この結果、粒径変化の限界水深は、波による地形変化の限界水深とほぼ一対一対応を示すことが明らかになった。この結果は、過去に繰り返し行われた深浅測量データがなくても、ある時期に行った底質採取より d_{50} の水深方向分布を求めれば、水深方向の d_{50} の変化から h_c の推定が可能であることを示している。この手法自体かなり有効であるが、これに加えて、本研究の結果では、調査対象海岸の周辺に波浪観測所があり、それより波浪統計データが利用可能であれば、未超過確率95%波高データに基づいて波による地形変化の限界水深の推定が可能となる。

さらに h_c とその地点における沿岸漂砂量の絶対値の関係も示されていることは、例えば等深線変化モデルなどの数値モデルの適用において、仮に長期間にわたって取得された深浅測量データがなかったとしても、 h_c や沿岸漂砂量の最大値などが予め評価されうることから、海浜変形の予測計算を合理的に進める上で重要な結果が得られたと考えられる。また、 d_{50} の水深方向分布の測定が行われておれば、それらのデータと組み合わせることによって、全体の推定精度の向上につながると考えられる。

また、 d_{50} の水深分布は、ある測線上で観測船を高精度で走行させて求めたものではなく、任意の平面位置において、底質採取を行った測定点の水深さえ明らかになれば分布形が描けることから、波による地形変化の限界水深算定のための簡易手法として利用可能である。この方法によれば多少推定精度は低くても、経年的な深浅測量を行わずとも波による地形変化の限界水深の推定が可能となる。

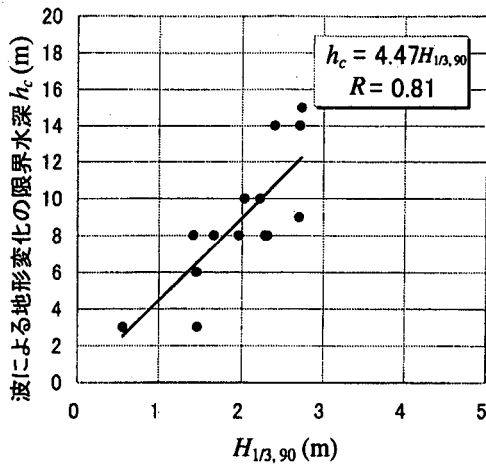


図-3(c) h_c と未超過確率90%波高の関係

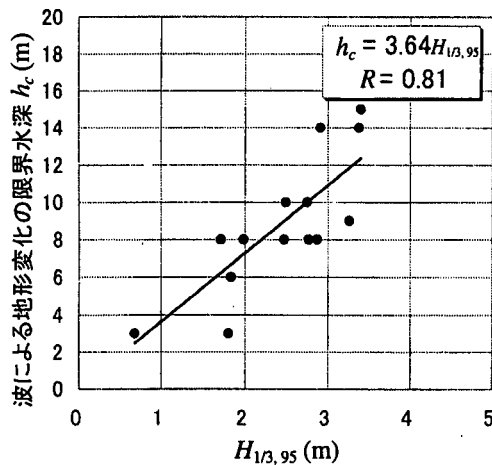


図-3(d) h_c と未超過確率95%波高の関係

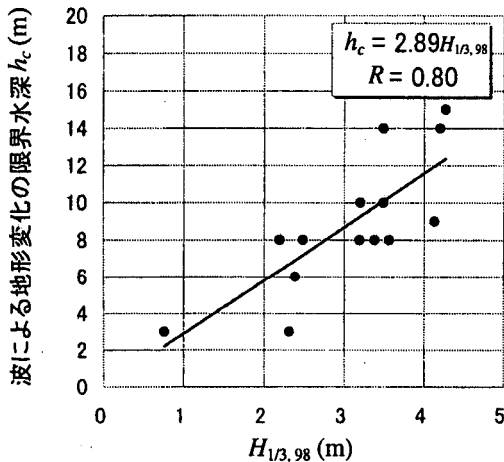


図-3(e) h_c と未超過確率98%波高の関係

このことは、波による地形変化の限界水深の大きい場所では、限界水深の5/2乗に比例して沿岸漂砂量が増大することを意味している。したがって、ある地点での波による地形変化の限界水深が推定されれば、これから沿岸漂砂量のオーダーの推定が可能となる。本研究によれば、 h_c と未超過確率95%波高 H_{95} の間には式(1)が成立するので、この関係を式(2)へ代入すると、

5. まとめ

(1) 旧運輸省のNOWPHAS波浪観測データと、 h_c の関係を調べた結果、未超過確率95%波高 (H_{95}) を用いると相関係数0.81で $h_c=3.64H_{95}$ なる関係が得られた。

(2) また、既往の研究で得られている h_c と沿岸漂砂量の絶対値 $|Q|$ に関する $|Q|=780h_c^{5/2}$ の関係に(1)で示された関係を代入した結果、 $|Q|=1.97 \times 10^4 H_{95}^{5/2}$ なる関係式が得られた。

参考文献

- 1) 宇多高明：日本の海岸侵食，山海堂，p. 442, 1997.
- 2) 三村信男・加藤 始：大洗海岸における近年の地形変化と沿岸漂砂量，第34回海岸工学講演会論文集，pp. 362-366, 1987.
- 3) 土屋義人・芝野照夫：下新川海岸の海浜過程について，第20回海岸工学講演会論文集，pp. 483-488, 1973.
- 4) 橋本 宏：海浜変形モデルの富士海岸への応用，第23回海岸工学講演会論文集，pp. 218-220, 1976.
- 5) 井島武士・佐藤昭二・早瀬幸一：伊良湖港の漂砂について，第5回海岸工学講演会講演集，pp. 97-106, 1958.
- 6) 矢島道夫・上薮 晃・矢内常夫・山田文雄：天橋立

におけるサンドバイパス工法の適用，第29回海岸工学講演会論文集，pp. 304-308, 1982.

- 7) 尾崎 晃：日高静内海岸の海浜過程について，第21回海岸工学講演会論文集，pp. 135-139, 1974.
- 8) 佐藤昭二・河西輝夫・田中則男・入江 功：小川原湖海岸の漂砂について，第19回海岸工学講演会論文集，pp. 7-11, 1972.
- 9) 松富英夫・工藤 修・池田正人：秋田県南部海岸での漂砂動向，海岸工学論文集，第39巻，pp. 341-345, 1992.
- 10) 三村信男・加藤 始・永井紀彦・堀井昭宏：常陸那珂海岸における海岸地形変化の特性，海岸工学論文集，第37巻，pp. 354-358, 1990.
- 11) 合田良実・佐藤昭二：海岸・港湾，土木学会編，彰国社，p. 396, 1972.
- 12) 運輸省港湾局：全国港湾海洋波浪観測25か年統計資料 (NOWPHAS1970~1994) (財) 沿岸開発技術研究センター，1996.
- 13) 宇多高明・小菅 晋・芹沢真澄・三波俊郎・古池鋼： d_{50} の水深分布から波による地形変化の限界水深を推定する方法，海岸工学論文集，第44巻，pp. 521-525, 1997.