

海底断面変化と平衡点との相互関係について

久 宝 雅 史*・戸 巻 昭 三**

1. ま え が き

自然海浜における海底断面形状は、現地海岸が異なると、波向、波浪特性、底質、海浜勾配なども異なるので実験室で再現が行なわれているが、模型の相似率などから外力が類似した地形を選び出すことは極めてむずかしいわけである。

この海浜横断面については、先の講演会¹⁾において、現地の実測した砂質海浜断面地形で地形変化の動きが顕著でなくなる地点を平衡点と称し、この点から汀線までの区間が波浪特性に対応した地形に変化していること、大きい波の影響を受けて侵食された海底地形も、通常時波浪により何時しか堆積し平衡点が生じていること、そしていずれの海岸においてもそれが存在し、その水深は5.5m ぐらいのものが極めて多いことなどを明らかにした。

大きな波による底質移動に伴う地形変化は、砂の移動と流れの関係に不明な点が多く、また実測もできず単に推測するだけで実態を把握するまでに至っていない。その後通常時波浪によって平衡断面が形成され平衡点が認められることは、平衡点における波や流れの変化が大きく影響しているものと考えられる。

また、最近大型造波水路²⁾による岸-沖漂砂の実験でそれなりの成果をあげられているが、通常時波浪に対する海浜地形変化に関しては、殆んど実験も現地観測も行なわれていないのが現状である。

海浜の平衡勾配の特徴を表現する指標を決定する場合に、海浜変形機構と外力との関連性が非常に複雑で、何がどう関連しているのか判断に苦しむところである。そこで、現地の通常時波浪と海底勾配に注目し、平衡断面の形成には、平衡点と海底勾配の相互の因子が決定的に支配しており、また通常時波浪によって形成された沿岸砂州の発生限界³⁾も、上記の因子がその構成に影響力を持っていることなどが現地観測の結果からわかったので、ここに報告するものである。

2. 実測地点・断面地形

(1) 実測地点

実測地域は、北海道・東北・北陸及び関東地域の各沿岸 43 地点の港湾・漁港建設に伴う深浅測量図を用い、1 地点から 2 測線の横断面を取り出し、しかも 1 測線からできるだけ地形の異なる 2 つの横断面地形を抽出した。この深浅測量図は、年の季節ごと、若しくは数年にわたって連続測量したもので、それは海浜地形への季節的影響がある程度反映している観測資料であるという考えのもとに、同一測線上を 3 度以上実測したものをを用いた。

なお、測量した地域、沿岸名などは下記の通りである。

北海道地域

オホーツク海沿岸	7 地点
日本海沿岸	3 地点
太平洋沿岸	9 地点

東北・北陸・関東地域

日本海沿岸	8 地点
太平洋沿岸	16 地点

計 43 地点

(2) 断面地形

図-1 は、3 回以上の実測結果による横断面図を重ね合わせた自然海浜の断面形状を示したものである。

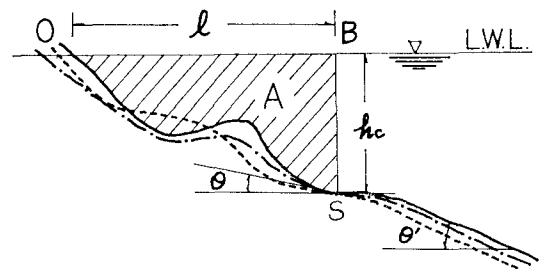


図-1 海底横断面形状

ここに

S : 横断面変化のすくなくなる点 (平衡点)

A : 水際線から平衡点までの水面積 (横断面形)

θ : 平衡点における海底勾配 (平衡点勾配)

* 正会員 工博 日本大学理工学部 土木工学科

** 正会員 西田鉄工(株)

θ' : S の勾配変更点より沖側の横断地形がほぼ安定となる地点の海底勾配 (沖勾配)

とした。

なお、ここで取り扱う平衡断面とは、水際線から外浜付近までの海底断面である。

3. 平均水深に対する漂砂量

自然海岸は、波、流れ、底質及び潮位が絶えず変るから、一定の水深、一定の海底勾配に安定することはあり得ない。しかし、ある期間内において、ある範囲内の海浜変化が周期性をもって繰返される安定状態にある海底断面が存在する。

まず、図-1 にみられる安定状態にある $\overline{OB}$ 間の海浜地形と、平衡点との関係を考察してみよう。

漂砂量は du Boys にしたがうと、沖波の特性や底質がともに変わらない場合には、定性的には水深の 3 乗に逆比例⁴⁾するものと考えられるので、実測した横断面を用いて汀線から平衡点までの平均水深に対する横断面変化の関係をプロットしたものが図-2 である。

なお、平均水深の逆数を $1/A$ で表わし、しかも海浜は bar 型、step 型の 2 つのパラメーターを用いて整理した。

図-2 から、次のようなことが観察される。

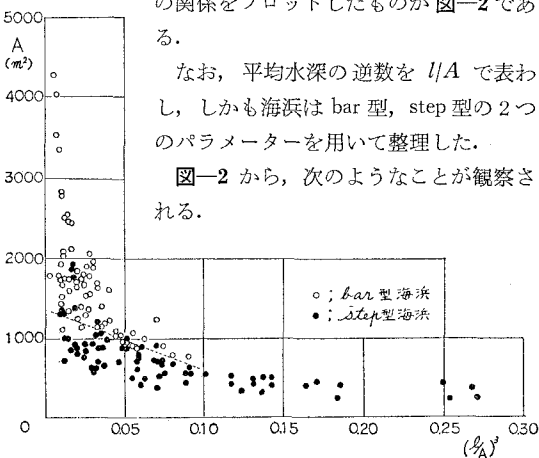


図-2 A と $(1/A)^3$ との関係

まず、平均水深が浅い所であれば step 型海浜が発生する。次に、平均水深が徐々に深くなってゆくと、step 型を表わす状態点は図中で右から左上方に上ってゆき、点線まで到達すると、そこで bar 型海浜になる。その後は、さらに平均水深が深くなると、 A はさらに斜上方に向けて移ってゆく状態がみられる。すなわち、step 型海浜は、海底横断面形を表わす A がほぼ 1000 m^2 と小さな一定値の中に存在し、堆積性海浜のあらゆる水深に発生するということができる。一方 bar 型海浜は、step 型海浜とは全く逆に、平均水深が深くなかつ海底地形が侵食された個所にだけ発生することが観察される。

なお、bar 型海浜が発生するときの汀線から平衡点までの最小距離は、図-2 の○印の最小点から推算すると約 340 m で、この地点から沖側に存在することになる。

底質の移動は、波浪特性や水深のほか底質粒径にも関連することは言うまでもない。しかし、これら実測された海岸は砂質であって、その粒度組成⁵⁾は、普通見られる砂質海岸の平均粒径程度のものという観点から、今後の議論をすすめることにした。

4. 平衡断面と平衡点との相互関係

(1) 平衡断面

先の講演会⁶⁾において、太東漁港の横断面を 8 回の測量による図を重ねた所、11 月の台風で大きい波の影響を受けて侵食された海底地形が、翌年 3 月の測量によると侵食部も堆積復旧し平衡点が生じたのが見られた。これは、この不均衡であった海底地形が、汀線に直角方向の岸-沖方向の砂移動が働き堆積したものと考えられる。

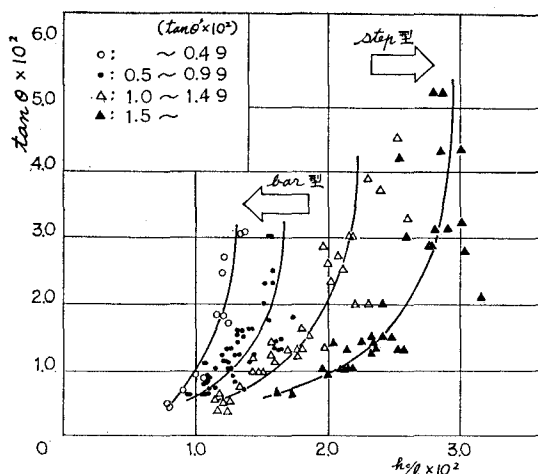
自然海浜に平衡断面が存在することは、海浜横断面が外力に対応した地形に変形したときであり、この変形過程においては、平衡点前後の横断面形状のうち、平衡点の勾配変更点より沖側の海底地形は、比較的安定した海底勾配を形成している。

以上のことから、海底地形における岸-沖方向の漂砂は、その移動の原因となる流れの強さによっても異なろうが、平衡点より岸側で浮遊と掃流移動によって地形変化を起こした漂砂の一部は、平衡点の勾配変更点 (S) よりさらに沖側へと掃流移動を続ける。そして、漂砂の移動によって形成する沖勾配の変形機構は、底質、水深、波特性及び勾配などによって絶えず平衡状態になるよう調節されているものと考えられる。

このように海浜の勾配は、沿岸における波や流れの諸現象と関係が深く、漂砂移動の形態や沿岸漂砂の岸-沖方向の分布などを決定的に支配している。しかしながら、地形変動に寄与する勾配の効果をはかる場合に、どこを基点として変形するかということと、平衡勾配に達するまでにどのような変形の過程をとるかということが重要な問題である。こうした勾配の基点は、海岸特性にあたる効果の差が明確でないという意味をなさないことになる。ところが、本論文を通じて用いられている基点は、図-1 に示されるように、1 つには波や流れに直接関係の深い平衡点勾配 (h_c/l) と、2 つには外力の影響が少ない平衡点勾配 (θ) と、そして平衡点より沖合の勾配 (θ') の 3 つの地点を海底断面から抽出し、基点としたことである。

そこで、これらの基点となる勾配のうち、安定勾配とみなされる沖勾配が、平衡断面の形成に支配的要素となっているのではなかろうかという考えのもとに、 θ' をパラメータにし、平衡点の横断地形を構成する平衡点 h_c/l と勾配 θ との関係を表わしてみたのが図-3 である。

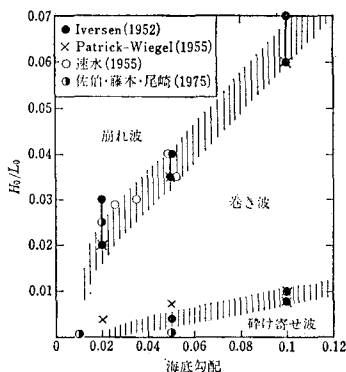
この図から、現地資料のため多少のばらつきはあろう

図-3 $\tan \theta$ と h_0/l との関係

が、平衡点勾配 θ が小さくなるにしたがって沖勾配 θ' もそれに比例して h_0/l の小さい方に移動すること、そして $\tan \theta \times 100 = 1.0$ (0.6°) 以下になると、 θ' は θ よりも h_0/l の減少の方が勾配 θ' の形成にむしろ作用し、一定値へ漸近する傾向を示している。すなわち、海底勾配 θ と θ' には、平衡点 h_0/l によって決まる境界条件をもち、このことは逆に、平衡点 h_0/l は、汀線から平衡点までの海底における輸送能力と底質特性とに対応し、土砂移動抵抗の変動によって決まる勾配を絶えず平衡にさせようとする働きがあるものといえよう。

(2) 平衡断面と波

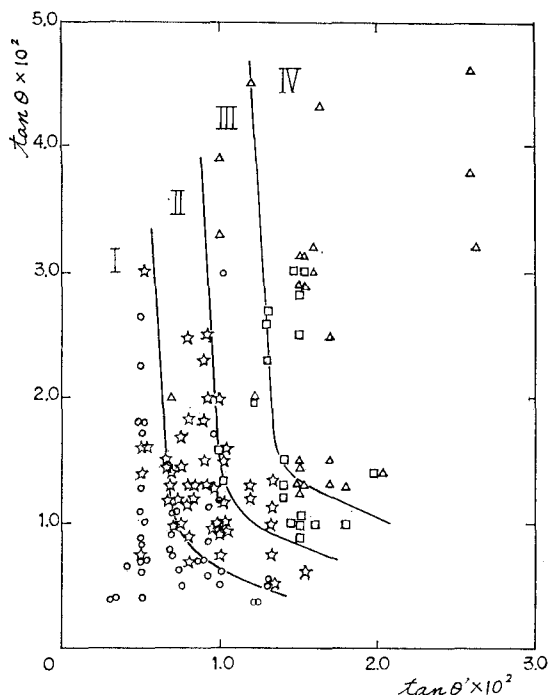
先に述べたように、波の静穏化に伴い侵食された海底地形が堆積し、平衡勾配になり平衡点が生ずることから、ここで取り扱う波は大きな波ではなく、その地域や近傍で起きる通常時波浪、すなわち有義波全年集計周期別頻度分布^{7)~10)}のうち、最も出現頻度の高い波を採用するのが妥当であろうと判断した。そこで、この波の碎波形式の概要を把握するため、速水ら^{11), 12)}がいそ波帯における波の砕け方について図-4の実験結果を得ている

図-4 碎波形式の出現区分¹²⁾

で、通常時波浪の条件として、波高 $0.3 \sim 0.6$ m, 周期 $4 \sim 6$ sec, 海底勾配は h_0/l を用いて推察してみた。

その結果、侵食された海底が堆積し平衡点が存在する現象は、巻波、一部は砕け寄せ波領域であって、しかも非常にエネルギーの小さい範囲で起っていることが認められた。

一方、自然海浜の平衡断面形状の海底勾配 θ と θ' の関係を図-5 からみると、実測値のばらつきはあっても、 h_0/l をパラメータにして整理すると、海底勾配 θ と θ' との関係の中であって、 h_0/l は4つのクラスに区別されることがわかる。

図-5 $\tan \theta$ と $\tan \theta'$ との関係 (凡例は図-6と同じ)

そこで、いまこの2つの角度は、パラメータの1つの区分の中ではおおむね反比例の関係にあるものとして、次の海浜の沿岸砂州発生限界領域の検討にこれを用いることにした。

図-6 は、平衡断面の海底勾配 θ 及び θ' によって、水際線から平衡点までの海底横断面形 A の受ける影響力を $A/\tan \theta \cdot \tan \theta' \times 10^4$ で表わし、パラメータは図-3 との関連性を図るため $h_0/l \times 10^2$ の値を用いて、波形勾配との関係を表したものである。

この図から、海浜形状は、式(1)の境界線より上に bar 型海浜、下には step 型海浜の領域が完全に分離されていることがわかる。

$$\log A/\tan \theta \cdot \tan \theta' \times 10^4 = 4.0 - 105.9(H_{1/3}/L) \cdots (1)$$

同じ有義波特性を持つ波が作用した場合、 $\tan \theta \cdot \tan \theta'$

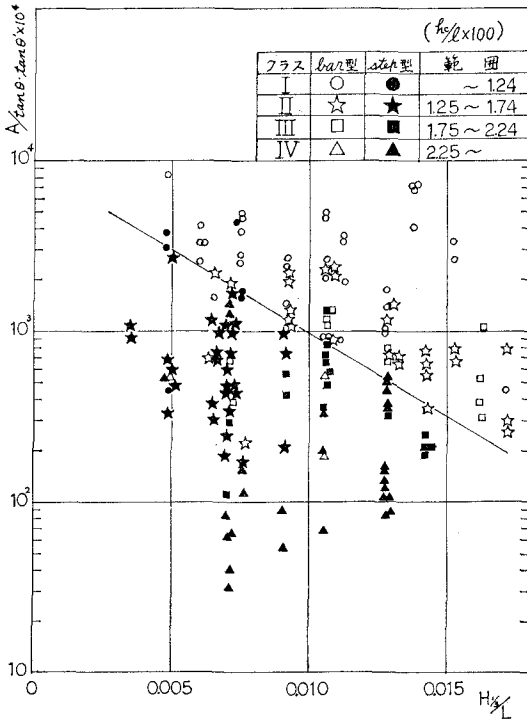


図-6 $A/\tan\theta \cdot \tan\theta'$ と $H_{1/3}/L$ との関係

の大きい所では step 型, 小さい所では bar 型の海浜地形が発生することになる。

次に, 図-6 と 図-3 の関連性について述べる。すなわち, 図-6 で $A/\tan\theta \cdot \tan\theta' \times 10^4$ が 2500 以上で, パラメータ $h_0/l \times 10^2$ が ~1.24 の範囲にあるものは bar 型海浜に属している。この $h_0/l \times 10^2 = 1.24$ は, 図-3 に示すパラメータ $\tan\theta' \times 10^2 = \sim 0.49$ の最大値に対応するもので, θ や h_0/l のある条件のもとで $\tan\theta' \times 10^2$ が ~0.49 の所では, bar 型海浜が発生することになる。一方, $A/\tan\theta \cdot \tan\theta' \times 10^4$ が 150 以下で, パラメータ $h_0/l = 2.25 \sim$ の範囲にあるものは step 型海浜に属している。この $h_0/l \times 10^2 = 2.25 \sim$ は, 図-3 に示すパラメータ $\tan\theta' \times 10^2 = 1.0 \sim 1.49$ に対応するもので, $\tan\theta' \times 10^2$ が 1.5 ~ の所では, step 型海浜が発生することになる。すなわち, 平衡状態になろうとする海浜地形は, 図-3 の平衡点より沖合の海底勾配 θ' が小さい角度になるにしたがって bar 型, 大きい角度になるにつれて step 型の海浜領域へと移行してゆくものと考えられる。

このことは, 平衡断面の形成にあたって, 平衡点 h_0/l と勾配 θ 及び θ' がある範囲内で相互関係を保もたれるよう常に調整が続けられていることを示唆しており, 現地での海浜地形の分類にあたっては, 図-2 の平均水深 (l/A) や平衡点及びその沖合などの海底勾配を含めて検討する必要があると思われる。

5. 平衡点 (h_0) の算定

以上平衡点は, 起伏を生じやすい浅い区域となめらかな深い区域の横断曲線の接点に生じており, また前節で述べたように平衡断面や海浜の分類などに深い関連性を有しているので, 平衡点の水深を求めることは, その海岸の平衡性を論ずるのに役立つものと思われる。

平衡点の算出にあたって, 波の物理的な諸要素は, 相対水深 (h/L) によって変るという考え方のもとに, その水深には h_0 を用い波長で割った無次元平衡点水深 (h_0/L) と波形勾配 ($H_{1/3}/L$) との関係から求めようとしたものである (図-7)。

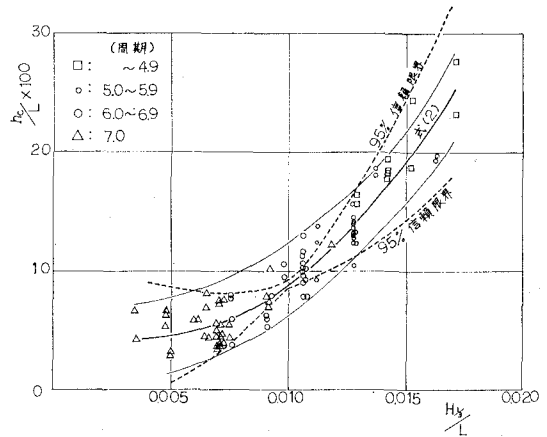


図-7 h_0/L と $H_{1/3}/L$ との関係

なお, この時の波高は, 前述のようにその地域若しくは近傍の年間で最も頻度の高い $H_{1/3}$ と周期を採用したので, 波の屈折や回折などの諸現象による波高変化は考慮しなかった。

図-7 から, 対応する 2 種類の変数, 波形勾配 ($H_{1/3}/L$) と h_0 を波長で割った無次元平衡点水深 (h_0/L) との間には, 2 次の関係があると認められたので, 回帰曲線を適用すると式 (2) があたえられる。

なお, このときのデータ数は $N=86$ である。

$$h_0/L \times 100 = 122.330(H_{1/3}/L)^2 - 966.6(H_{1/3}/L) + 6.25 \quad (2)$$

現地における h_0 の実測値の誤差等を考慮し, ± 0.2 m の幅を持たせて $h_0/L \times 100$ を算出した上下限値と, 式 (2) によって求めた推定値に対する信頼度 95% の信頼限界をも 図-7 に示した。

まずこの図で, h_0/L の変動範囲が波形勾配 $H_{1/3}/L$ ごとに大小の値をもった層をなし, 95% の信頼限界から少しはずれている点がみられるのは, 実測誤差もあろうが, 当該地域での長期の波高観測資料がない場合にやむなく近傍のものを利用したこと等により, このような結

果が現われたものと考えられる。

また図-7に示されるように、周期は大きさ順にグループ分けがなされているので、これを利用すると、平衡点 h_0 の最小水深は波長の大きい場合に存在し、式(2)から約3.8mと算出される。

第4章において既述のように、平衡断面が通常時波浪で形成するときの一つの条件としては、図-7に示されるように波形勾配が0.017以下からであろうと思われる。

これは、従来このような海浜形状を取り扱った研究^{13),14)}の波形勾配より非常に小さいのは、平衡断面がすでに形成された現地海浜の観測結果に基づくからである。

6. む す び

現地の観測資料をもとに、海浜断面変化と平衡点について考察してきたが、主要なるものを示すとつぎのようである。

1) 平衡勾配に影響をあたえる要素は、水際線から平衡点までの平均水深 l/A のほか、 θ 、 θ' 及び h_0/l の3つの相互関係であり、この構成の中で θ' が小さければ bar 型、大きければ step 型海浜へと移行する影響力を持っている。

2) bar 型、step 型海浜の発生限界を示す図-6から、波形勾配が一定のときには、横断面形 (A) や海底勾配 (θ , θ') の変化によって海浜形状が変わる。

3) 波高は相対水深によって変わるという考え方から、 h_0 を波長で割った無次元平衡点水深 (h_0/L) と、通常時波浪の波形勾配との間には、2次的な関係がある。

4) 平衡勾配が形成するのは、通常時波浪の波形勾配が0.017以下からであろうと思われる。

以上、本報告で述べた平衡勾配に関する資料は、十分制御された条件のもとで求められた実験値ではなく、現地の実測であるが故に、こうした点のばらつきは、自然海浜や波の現象の本質からみてある程度やむを得ないものといえよう。

しかし、今後さらに多くの資料の収集に努め、研究成果の精度を高めてゆきたいと思っている。

最後に本研究をすすめるにあたり、深浅測量図など資料提供に多大のご援助下さいました関係各位に対し、深謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 久宝雅史・戸巻昭三：海浜横断面の平衡点について，第28回海講論文集，pp. 247~250, 1981.
- 2) 鹿島遼一・清水隆夫・丸山康樹・斉藤昭三：大型造波水路による岸沖漂砂の実験的研究(2)，第29回海講論文集，pp. 228~232, 1982.
- 3) 岩垣雄一・野田英明：海浜変形に及ぼす scale effect の研究，京大防災研究所年報第4号，pp. 210~220, 1982.
- 4) 渡辺弥作：海岸工学，コロナ社，363 p., 1973.
- 5) 田中則男・小山内英雄・夷塚葉子：我国主要海浜の特性について，港湾技研資料，No. 356, 67 p., 1980.
- 6) 前出 1)。
- 7) 高橋智晴・広瀬宗一・菅原一晃・橋本典明：波浪に関する拠点観測10か年統計(昭和45年~昭和54年)，港湾技研資料 No. 401, 711 p., 1981.
- 8) 牧野成雄・吉岡紘治：北海道沿岸の波浪と潮位特性について，北海道開発局土木試験所報告，第71号，161 p., 1979.
- 9) 水産庁漁港部：波浪調査報告書，(昭和48~52年)，344 p., 1979.
- 10) 港湾管理者：港湾審議会，港湾計画書資料編。
- 11) 速水頌一郎：碎波の機構(II)，第2回海講講演集，pp. 13~15, 1955.
- 12) 岩垣雄一・榎木 亨：海岸工学，共立出版社，463 p., 1979.
- 13) 前出 3)。
- 14) Dean, R. G.: Heuristic models of sand transport in the surf zone, Proc. Conf. on Engr. Dynamics in the surf zone, pp. 208~214, 1973.