

# 大規模ヘッドランドの形成手法に関する実験的検討

佐々木大造\*・日吉 功\*\*・宇多高明\*\*\*・中山 修\*\*\*\*

## 1. ま え が き

離岸堤は海岸侵食の対策工法として広く用いられている。しかし、従来型の離岸堤は堤長や離岸距離が高々100mのオーダーであり、近年の海洋性レク等の利用に対応させた広い利用空間を確保することはできない。一方、湘南海岸にある江ノ島を例にとると、島の前面水深は約10m、島の規模は約1kmのオーダーを有し、離岸堤と比較して規模はずっと大きい。このためその背後に形成された砂州は大きなスケールを持ち、活発な利用が図られている。このように大規模なヘッドランドを形成する手法について宇多ら(1988a)は移動床実験と数値計算により検討し、離岸堤部を長くし、かつ養浜を行えばそれが可能なことを示した。

本研究で対象として取り上げる湘南海岸は、近年海岸侵食が進んだ(宇多ら, 1988b)ために、その対策としてヘッドランドと養浜を組み合わせることで良好な環境を生み出す方策が過去3ケ年にわたり検討された。本報告では、移動床模型実験によるヘッドランドの形成実験の結果について述べる。

## 2. 検 証 実 験

移動床模型実験に際して最初に問題となるのは漂砂現象の相似則である。相似則を理論的に定めることは困難としても、実験に先立って何らかの方法によって現地と模型の空間・時間スケール比を求めなければならない。ここで検討するヘッドランドはその規模が大きく、背後の静穏域の広さも大きい。このため構造物周りの地形変化は主として沿岸漂砂によって生じると考えられる。そこで沿岸漂砂が卓越する場での時間縮尺について検討することとした。湘南海岸では、平島の背後に近年茅ヶ崎漁港が建設され、沿岸漂砂が阻止されたことによってその周辺では顕著な汀線変化が見られた。そこでこの漁港周りでの地形変化を代表例として検証実験を行い、時間

・空間縮尺を経験的手法により定めた。

実験は、空間縮尺を1/50とし、茅ヶ崎漁港を中心として沿岸方向に2kmの区域(図-1参照)を模型範囲とした。茅ヶ崎漁港は平島の背後にあり、汀線より2本の平行な防波堤が存在する。島の周りの等深線形を調べると、漁港の西側では汀線から-7m付近までの等深線が島の背後へ向けただらかに前進し、逆に東側では等深線が大きく湾入している。このような地形特性は、当地点での沿岸漂砂の卓越方向がやや東向きであることを示している。

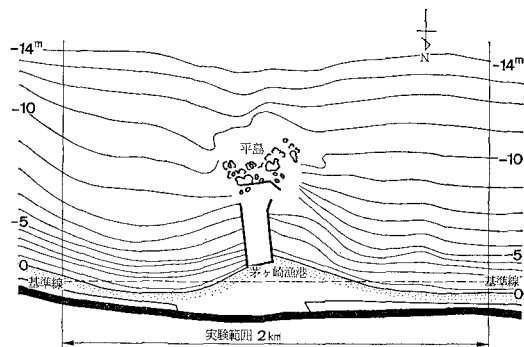


図-1 茅ヶ崎漁港周辺の海底地形(1988年11月測量)

移動床平面実験に際しては実験波諸元を最初に定めなければならない。実験では中央粒径約0.18mmの砂により2次元海浜を整形し、波を10時間作用させた。この場合、入射波高は4~8cm、周期を1.0~1.4sの間で変え、漂砂の移動限界水深と海浜断面形の相似性の面より実験の波浪条件について検討した。この結果、現地海浜との対応が比較的良好な条件として沖波波高6.0cm、周期1.2sの波が選定された。次に、茅ヶ崎漁港西側海浜の汀線形状がそこでの卓越波向にほぼ直角となると仮定し、逆屈折計算を行うことにより、沖合での波の入射方向をS7°W(入射角15°)と設定した。

検証実験では、まず漁港などの施設を設置しない条件で波を2時間直角入射させ、岸沖漂砂による初期地形変化を生じさせた。次に、平島を設置し、斜め入射波を45

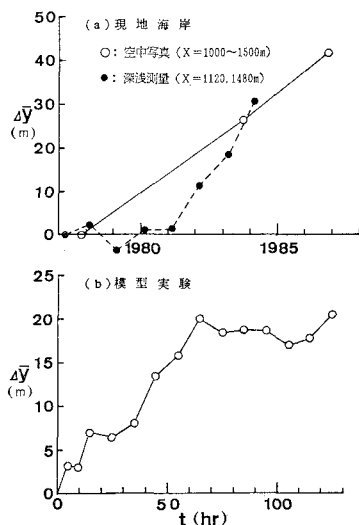
\* 正会員 神奈川県土木部河港課長  
 \*\* 正会員 神奈川県土木部河港課技幹  
 \*\*\* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長  
 \*\*\*\* 正会員 (財)国土開発技術研究センター

時間作用させて平島背後の舌状砂州を形成させた。最後に茅ヶ崎漁港の防波堤を設置し、構造物によって沿岸漂砂の移動が阻止された時の地形変化を再現させた。この場合の波の作用時間は125時間であった。なおこの間、平面水槽の両端からの砂の流入流出はなしの条件とした。

この海岸では過去数回航空写真が撮られている。したがって、これらの写真を利用すれば調査区域の汀線変化を明らかにすることができる。1977年11月を基準として1983年10月、および1986年11月までの汀線変化を調べると図-2(a)となる。漁港の西側では汀線が前進し、東側では後退しており、明らかにこの地点では東向きの沿岸漂砂が卓越することがわかる。

平島のみを設置した実験では斜め入射波を作用させた結果、島背後の舌状砂州は経時的に発達し、45時間で現地海岸とほぼ同規模の舌状砂州が形成された。そこでこの形状を初期値とおき、新たに二本の平行防波堤を設置し、更に斜め入射波を作用させた。図-2 (b) には平行防波堤を設置してから45, 65時間後の汀線形を示した。ここに、図-2 (b) および以下の実験結果を示す図においては、水平、鉛直スケールを50倍し、現地スケールとした。また、時間スケールについては縮率に不確定さが残るので、実験時間をそのまま表示した。また、図-2 で防波堤位置がわずかにずれているのは、実際には斜めの防波堤をX軸と直角に設置したためである。平行防波堤の上手側で汀線が前進し、下手側で後退する特徴は実験と現地でかなり良い一致をみている。実験では側壁があるために左端近くで沿岸流が剥離し、離岸流となって沖へ戻る。その下手部分に土砂が堆積するために汀線が前進しているが、現地海岸では対象区域の下手側より流出するのでこのような変化は見られない。さらに、防波堤の西側区域での平均汀線変化量の経時変化を図-3 に示す。航空写真では1977年から1986年までの平均的な前進速度は、4.6 m/yr、深浅測量では1977年から1986年までの前進速度は、2.9 m/yr であった。一方、実験では65時間後に平衡状態に達していることから、65時間まで

の平均的な前進速度を求めると 0.3 m/hr となる。したがって、現地海岸の1年間が実験では10~15時間に相当すると推定される。



図一3 茅ヶ崎漁港右岸海浜の平均汀線前進量の比較

### 3. 舌状砂州の形成実験

舌状砂州の形成実験では、沿岸方向に一樣な海浜断面形を整形し、平面水槽の中央にヘッドランドの頭部（以下、ヘッド模型と呼ぶ）を設置した（図-4 参照）。波の反射を極力小さく抑えるために、ヘッド模型は不透過壁の沖側に4号砕石を1:4の勾配で敷き並べ、またその天端は越波が生じないように十分高く（模型の天端高10cm）した。また、その端部は局所洗掘を防止するために、半円形の斜面とした。模型の種類は3ケースとした。ケース①の堤長は400m、設置水深が10m、ケース②の設置水深はケース①と同じで、堤長を更に200m延ばした。ケース③は設置水深を5m、堤長を200mとした。これらの構造物の設置後、波を直角入射させ、海浜

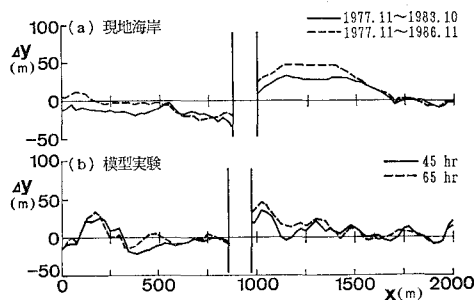
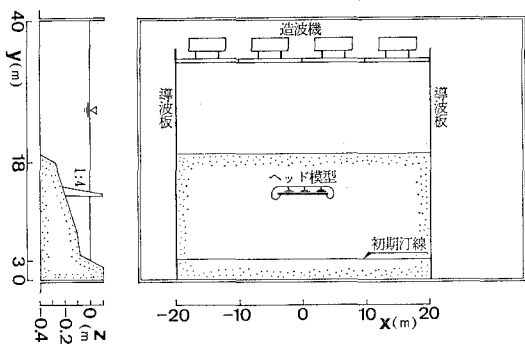


図-2 現地海岸と検証実験における汀線変化量の比較



図一4 ヘッドランド実験の状況

地形、波高分布、波峰線形、流況などをくり返し測定した。

ケース①の実験時における初期地形を図-5に、またこの地形条件の下で、 $H_0=6\text{ cm}$ 、周期  $1.2\text{ s}$  の波を45時間作用させた時の海浜形状を図-6に示す。ヘッド模型の背後では舌状砂州が発達している。また、舌状砂州の沖には、2つのツノ状の堆積箇所が見られる。ヘッド模型の背後に発達する一対の循環流によってヘッド模型の両側よりその中央部へ土砂が運ばれるが、中央部では掃流力が弱いから、底質はそこへ達することができず、その手前で堆積する。このため2つのツノ状の浅瀬が形成されたと考えられる。また2つのツノ状の浅瀬とヘッド模型との間の区域の等深線形には有意な変化はほとんど見られない。以上の点よりヘッド模型背後の静穏域に人工的に養浜した場合、その部分の土砂は流出せず、ヘッド部と陸とを結ぶ陸けい砂州が形成させうることが分かる。

また、図-5, 6において沖合部の等深線形の差違を調べると、 $-11\text{ m}$ の等深線はほぼ変化がない。 $-10\text{ m}$ の等深線もヘッド模型から離れた場所では変化がないが、ヘッド模型の両端部では局所的に等深線の湾入部が見られる。さらに浅海の例えば  $-7\text{ m}$  の等深線形は、構造物より離れた場所では沖向きに大幅に移動している。これは

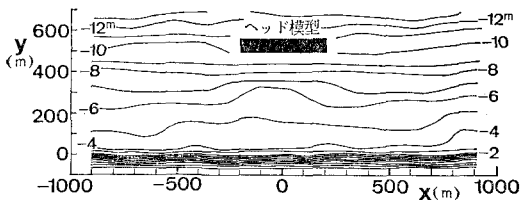


図-5 初期地形

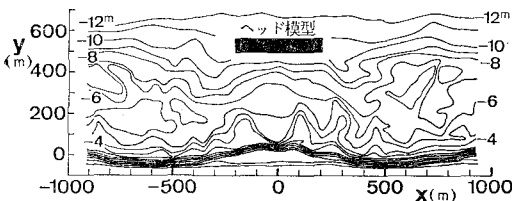


図-6 ヘッド模型①設置45時間後の海浜地形

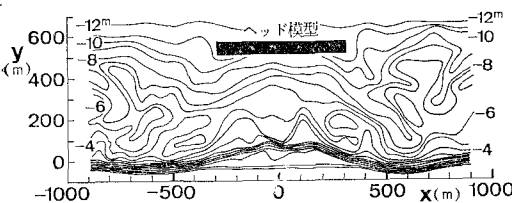


図-7 ヘッド模型②設置35時間後の海浜地形

ヘッド模型より離れた部分においてバー・トラフが形成され、それに伴って碎波帯内の土砂が沖向きに移動したためである。一方、等深線の湾入部の位置はヘッド模型の端部より岸方向へと斜めに延びており、この位置は回折波により高波高となる部分にはほぼ対応している。さらに等深線の湾入部が汀線付近に達するところでは汀線のすぐ沖合に深みが形成された。構造物の設置によりその背後の静穏域では広い利用空間を確保できるが、その両側では汀線が後退するだけでなく、等深線の湾入部が広がり、さらに波高も高くなることに注意が必要である。

長さ  $400\text{ m}$  のヘッド模型を更に  $200\text{ m}$  延長し、波を35時間作用させた時の海浜形状を図-7に示す。図-6の場合と同様に  $-10\text{ m}$  と  $-7\text{ m}$  の等深線形を比較すると、ヘッド模型が左右に伸びたために、端部の深みの形成される部分も左右に移動した。このため  $-10\text{ m}$  の等深線の端部付近での陸側への湾入部の位置も平行移動した。また、 $-7\text{ m}$  の等深線は沿岸方向に大きな変動を有している。一方、ヘッド模型の背後ではツノ状の浅瀬が更に発達し、双峰型の舌状砂州が形成された。

実験はケース③についても同様に行った。ケース①～③の実験の結果得られたヘッド模型周辺の安定な汀線形を図-8にまとめて示す。水深  $10\text{ m}$  に設置された堤長  $400\text{ m}$ 、 $600\text{ m}$  のヘッド模型①、②では、その背後に双峰型の舌状砂州が形成された。また、水深  $5\text{ m}$  に設置した堤長  $200\text{ m}$  のヘッド模型③では単峰型の舌状砂州が形成された。ヘッド模型背後に形成される堆積域の規模は、沿岸方向で見るとヘッド模型の堤長とはほぼ同程度であり、汀線の最大前進量はヘッド模型の規模による差は小さく、 $60\sim 80\text{ m}$  であった。一方、堆積域の左右には侵食域が形成され、汀線後退量はヘッド模型の規模に応じてケース③、①、②の順に大きくなり、最大汀線後退量は各々約  $20$ 、 $30$ 、 $40\text{ m}$  となった。最大侵食量を示す地点はケース③、①、②の順にヘッド模型から離れた地点となる。

次に、ヘッド模型を設置した場合の周辺海浜の地形変化状況を調べるために、図-8において汀線が最も前進あるいは後退する位置における汀線の経時変化について

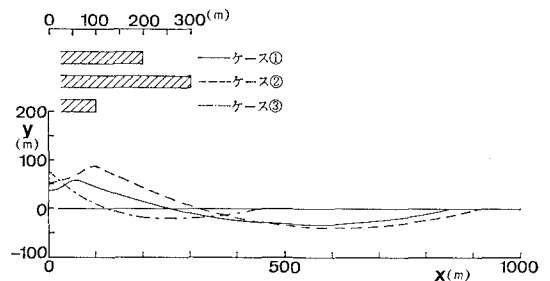


図-8 各ヘッド模型によって形成された安定海浜の汀線形

調べた(図-9)。汀線変化を図示するに際して、海浜地形変化が沿岸漂砂によって生ずるものであることを考慮して、横軸には時間の平方根をとった。最初からヘッド模型を設置したケース①、③での汀線変化速度は初期に大きく、その後変化が小さくなり、25~30時間と比較的安定な汀線形となった。一方、途中でヘッド模型を延長したケース②では初期には変化は小さかったが、約4時間後からは単調な増加傾向を示し、25時間程度では安定した。結局、検証実験から求められた時間スケールを適用すると、約3年で安定海浜が得られると考えられる。

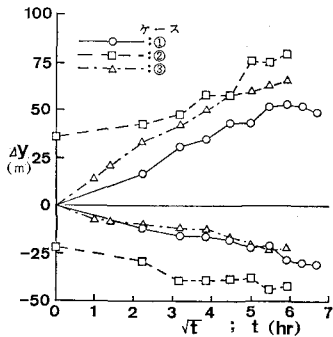


図-9 最大汀線変化地点の汀線経時変化

ヘッド模型を設置することによって汀線の前進した区域と後退した区域の面積の変化量  $\Delta S_A$ ,  $\Delta S_E$  を求め、それらの経時変化をまとめると図-10となる。ただし、侵食域はヘッド模型の両側に生ずるので、それらの和より侵食域の面積を求めた。ヘッド模型の規模に応じて侵食、堆積域の面積は変化する。大規模な堆積域を形成させるにはヘッド模型の規模を大きくする必要がある。ケース①では、侵食、堆積域の面積はほぼ等しい。また、時間的には0~5時間の変化が大きく、それ以後ではほぼ単調増加となった。ケース②では実験開始後における侵食域の面積増加率が堆積域の場合よりも小さく、また、全般に堆積域の面積の方が大きかった。ケース③でもケース①とほぼ同様な結果が得られた。

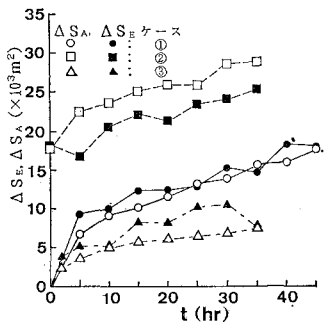


図-10 侵食域、堆積域の面積の経時変化

各ヘッド模型により形成される安定海浜の形状を最終汀線形より定めた結果を表-1に示す。ただし、表中のパラメータの定義は図-11に示した。汀線形の変化点の構造物に対する相対的位置は各ヘッド模型で比較的共通している。ヘッド模型端部からの角度は、侵食の始まる地点で約5°、侵食が最大となる地点で約30°となった。

表-1 ヘッド模型周りの汀線形状を表わす特性値

| 実験ケース            |                  | ①       | ②       | ③       |
|------------------|------------------|---------|---------|---------|
| 地形変化諸量           | 設置水深 $h_b$ (m)   | 10      | 10      | 5       |
|                  | 離岸距離 $Y_b$ (m)   | 500     | 500     | 200     |
|                  | 堤長 $2X_b$ (m)    | 400     | 600     | 200     |
| 変化点角度            | 最大堆積点 $\alpha_0$ | 17.5    | 26.0    | 30.0    |
|                  | 侵食開始点 $\alpha_1$ | 7.5     | 3.0     | 6.0     |
|                  | 最大侵食点 $\alpha_2$ | 33.0    | 31.0    | 29.5    |
|                  | 侵食終了点 $\alpha_3$ | 52.5    | 51.0    | 54.5    |
| (度)              | 最大堆積点 $X_A$ (m)  | 140     | 205     | 100     |
|                  | 最大堆積量 $Y_A$ (m)  | 60      | 85      | 75      |
|                  | 最大侵食点 $X_E$ (m)  | 350     | 325     | 150     |
|                  | 最大侵食量 $Y_E$ (m)  | 30      | 40      | 18      |
| 侵食点~堆積点の曲率半径 (m) |                  | 1,400   | 1,100   | 550     |
| 砂面(両側)           | 堆積部分 $S_A$ (m²)  | 19,500  | 29,600  | 12,700  |
|                  | 侵食部分 $S_E$ (m²)  | -21,900 | -28,900 | -12,600 |
|                  | 合計 $S_T$ (m²)    | -2,400  | +1,300  | +100    |

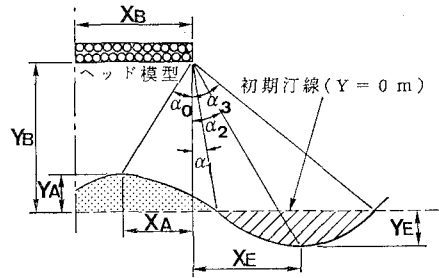


図-11 ヘッド模型周りでの各パラメータの定義図

#### 4. 養浜実験

ヘッド模型の背後に形成される安定な舌状砂州形については明らかになったが、実際にはヘッド部と陸地とをつなげ、陸けい砂州を形成させて初めてヘッドランドとなる。ヘッド部のみ建設してヘッドランドを形成させるには非常に長い時間を要し、しかも養浜を行わない限り周辺で著しい侵食が生ずる。そこで養浜を行うことにより周辺の侵食を緩和させ、さらに、ヘッドランドを急速に形成させる手法について検討した。実験は3ケース行った。ケース①では、ヘッド部の背後外に形成される侵食域に養浜し、初期汀線まで回復を図った(図-12a)。ケース②では、ヘッド模型の背後の陸けい砂州を人工的に急速に形成させるために、三角形に養浜した(図-12b 参照)。養浜に際して、砂州高は2.5m。海浜勾配は1/10とした。ケース①では養浜域の汀線は時間とともに急速に後退し、25時間後までに土砂はヘッド模型の背後

域へと移動した。結果として侵食の規模(侵食範囲, 侵食量)は養浜しない場合に比べて多少小さくなる程度であった。侵食域への養浜砂がヘッド模型背後へ動こうとするのは, ヘッド模型背後の砂州形が安定形状に達しないためである。そこで土砂の堆積を加速するために, ヘッド模型の背後に集中的に養浜を行った(図-12 b 参照)。ヘッド模型の背後では砂移動量が非常に少なく舌状砂州地形に変化が生じない。結局, 背後部では波の作用が弱いから大量の養浜を行うことによって大きなトンポロを形成させることができる。最後にケース③ではケース②の侵食域に追加養浜を行い, 土砂移動状況を調べた(図-12 c), この場合, 土砂は再び構造物の背後方向へと移動し, 基部の砂州幅が拡大した。これはケース②での養浜砂量が十分でなかったためである。

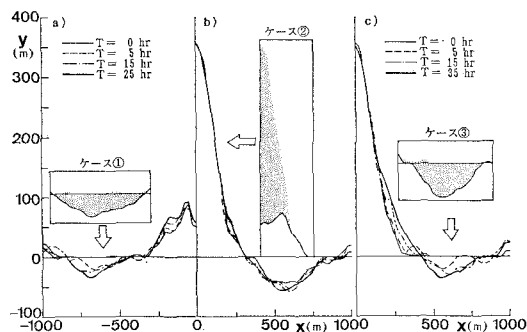


図-12 養浜時の汀線変化

## 5. 結 論

①平塚漁港周りでの汀線変化に関する現地データと実験値との比較により, 移動床水理模型実験における時間

縮尺を定めた。これによると, 現地海岸の1年間が実験では10~15時間に相当すると推定された。

②ヘッド模型の長さが長いとき, 背後には双峰形の舌状砂州が形成された。また構造物の背後では漂砂移動がほとんど生じないために, 構造物の両側より背後域へ運ばれた底質は, 1対のツノ状の浅瀬を形成して堆積した。

③ヘッド模型を3種類変えた実験により, 各ヘッド模型の背後に形成される安定な舌状砂州形や, 周辺における侵食域の規模が明らかにされ, それらの特性は最終的に表-1 のようにとりまとめられた。

④ツノ状地形の間では地形変化がほとんど生じないことから, ヘッド部を建設してもそのままでは舌状砂州の発達は極めて遅くなり, ヘッドランドの建設はほとんど不可能となる。そこでその部分において養浜を行い, ヘッドランドを急速に形成させる方法について検討した。実験によれば養浜砂は十分安定に保たれ, ヘッドランドの形成が可能になったことがわかった。

謝辞: 本研究は, 豊島修東海大学教授を委員長とし, 土屋義人京大防災研究所教授(現防災研究所長), 渡辺晃東京大学教授ほか, 行政機関の代表者から成る委員会の指導の下に行われたものである。本報をまとめるに際してこれらの方々から多くの助言をいただいたことに対し, 深甚な謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 宇多高明・小俣 篤・横山揚久(1988a): 離岸堤による人工岬の形成手法, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 422~426.
- 宇多高明・村井禎美・武中信之(1988b): 湘南海岸の地理的海岸工学的諸条件に関する検討, 海洋開発論文集, Vol. 4, pp. 237~242.