

入り組んだ湾奥部での人工海浜計画上の留意点

—東京湾を例として—

宇多高明*・堀越信雄**・林 順一***

1. まえがき

近年、自然の砂浜をとり戻すための養浜工が各地で行われるようになった。養浜は、土砂の投入量が多くなると初期の建設投資にかなりの経費を要するが、それ以上に問題となるのは造成後の土砂損失を補うために行う追加養浜に要する経費である。維持に要する経費は、期間が長くなればかなり多くの額となるからである。東京湾内の海岸線の多くは高度成長期以来埋め立てが進み、自然の砂浜が失われたが、砂浜を復元するために湾奥部のいくつかの地先で養浜工が実施されてきた。例えば、葛西、船橋、幕張および検見川などで人工海浜が造成された。また、最近では浦安の高洲海岸でも養浜の可能性が検討されつつある。複雑な海岸線形状を持ち、ほぼ閉じた海域からなる湾奥部での人工海浜の計画においては、外洋に面した海岸とは別の意味より技術的な問題点がある。それは、作用波のエネルギーレベルは低いものの、波の入射方向の推定がかなり難しいことから、砂の流出防止用の施設の配置にかなりの工夫を要する点である。本研究は、このような問題について現地データをもとに考察しようとするものであり、そのため幕張、検見川、船橋の人工海浜を実例として、空中写真や深淺測量データをもとに養浜後の海浜断面形や土砂量の変化についてまず実証的な分析を行い、それらより浦安地区での人工海浜計画での留意事項について考察するものである。

2. 東京湾湾奥部の地形と波浪条件

東京湾の地形を図-1に示す。本研究で計画の対象とするのは東京湾湾奥部に位置する浦安高洲海岸である。また既に人工海浜が造られている場所は、西から順に葛西、船橋、幕張そして検見川の4ヶ所である。ここでは東部にある3ヶ所を検討対象とする。

東京湾湾奥部の波浪条件に関しては、図-1に示す千葉港観測塔と東京灯標の2ヶ所での波浪観測データが利用できる。まず、千葉港観測塔のデータより、1983年1

月より1985年12月まで3ヶ年の有義波高、周期の出現頻度を調べると、有義波高は0.3m未満が全体の約80%を占め、次いで0.3~0.5mが約15%であった。全体では0.5m未満の波高が93%の出現率を示す。1m以上の波高の出現率は1.3%と非常に低い。周期は3s未満が45%、3~4sが約40%、4~5sが約10%となっている。さらに、波浪データをもとにエネルギー平均波高、周期を求めると、 $H_{1/3}=0.33\text{m}$ 、 $T_{1/3}=3.3\text{s}$ となる。

同様に、東京灯標における1970年~1992年の観測データを用いて日最大有義波高の出現回数をまとめると図-2となる。図には、風向・波高別の出現度数を整理した。これによると、出現頻度が高く、かつ波高の高い風向はSまたはSSWである。第3位はNEであるが、波高は低い。これらのことから、東京灯標地点では、主な波の入射方向はSまたはSSWと言える。

計画対象の浦安高洲海岸は東京灯標の北東約12kmに位置し、図-3に示すように東京灯標よりSまたはSSWの吹送距離が長いので、東京灯標で高頻度のSまたはSSWが同様に卓越すると考えられる。

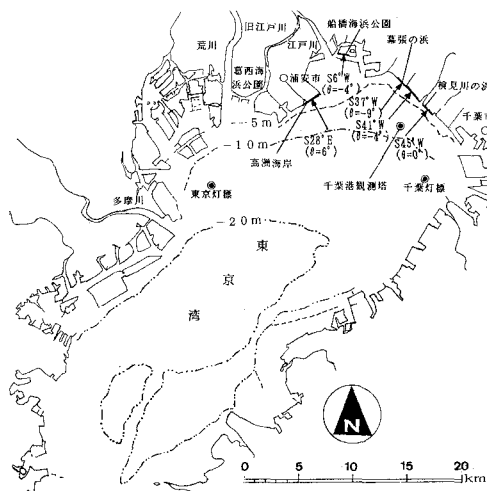


図-1 東京湾湾奥部の地形

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長
 ** (財)リバーフロント整備センター研究第一部
 *** (株)建設環境研究所技術二部

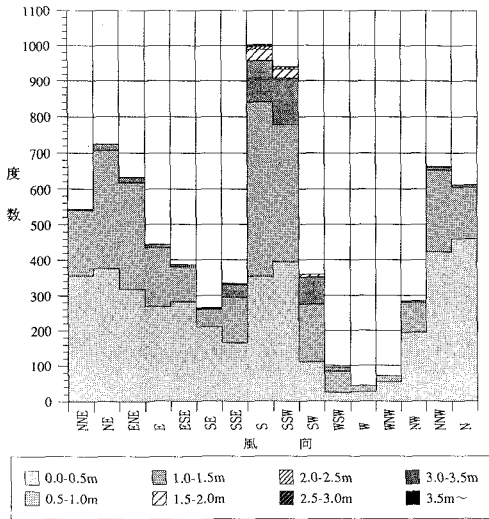


図-2 日最大有義波高の出現回数 (東京灯標)

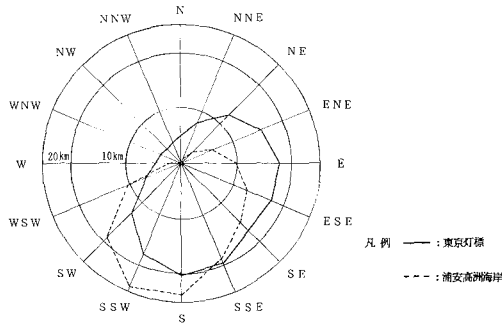


図-3 東京灯標と浦安高洲海岸の有効吹送距離の比較

3. 幕張人工海浜の海浜特性

最初の例として幕張人工海浜を取り上げる。ここでは養浜後深淺測量が行われてきているので、それらの分析により波による地形変化に関する定量的データを得ることができる。幕張地区の人工海浜は、A地区とC地区に分かれる。海浜の延長はA地区が1,820 m、C地区が872 mであり、A地区では養浜部の両端および中央部に、C地区では両端に突堤が設けられている (図-4参照)。これらの突堤は埋め立て以前の海岸線より2.5 km 沖合に平行移動させた海岸線に対し直角に出されている。また両地区とも養浜砂の流出防止と、養浜土砂量の節約のために沖側端には潜堤が設けられている。基準線より潜堤までの距離はA地区の東側では180 m、西側では250 mであり、C地区では全域250 mである (図-4参照)。潜堤の天端高は全てA.P.-1.5 mである。養浜時の前浜勾配は、1/20 または1/30 と計画された。

図-5, 6には1985年3月の深淺図を示す。A地区は3基の突堤により2分されている。南側をA₁地区、北側をA₂地区と呼ぶ。A₁地区の延長は650 m、A₂地区のそれは1,170 mである。人工海浜の沖の水深を比較すると、A₂地区の4~5 mに対し、A₁地区では15 m以上と著しく深い。A₁地区の沖合部が深いのは、養浜砂を得るために掘削が行われたためである。図-5によると、A₁, A₂地区の汀線 (A.P. 1 m) は北 (右) 側ほど沖に位置する。これは、この地区への波の平均的入射方向が海岸護岸を連ねる基準線に対する法線に対し、時計回りの方向であることを意味する。同様に、図-6に示すC地区ではA₂地区とよく似た特徴が表われており、南側に比較して北側は前浜が広い。3地区の人工海浜の底質中央粒径は0.25~0.33 mmの間にあり、また均等係数は1.7~2.1と比較的均一な砂より成っている。

これら3地区では、その後継続的に深淺測量が行われ、その結果波による地形変動状況が以下のように明らかにされている (宇多, 1988)。まず、A₁地区では両側の突堤に近い2断面において共に汀線付近が侵食され、沖合で堆積が見られた。沿岸漂砂による地形変化であれば、一方で等深線が前進すれば他方では後退するはずであるが、そのような変化は見られない。したがって、この地区での地形変化は沖向き漂砂によって支配されていたことが示された。そして、その原因として、この区域の海

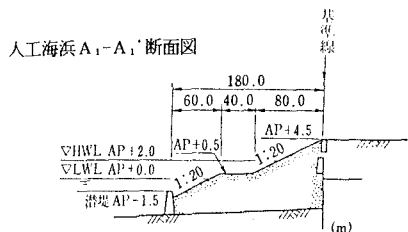
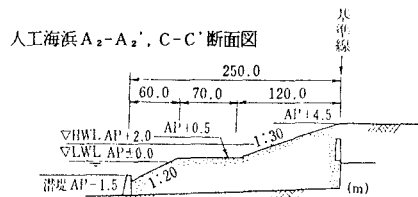
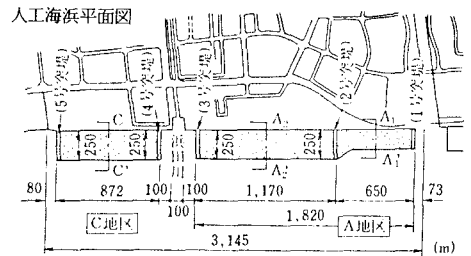


図-4 幕張人工海浜の平面形と断面形

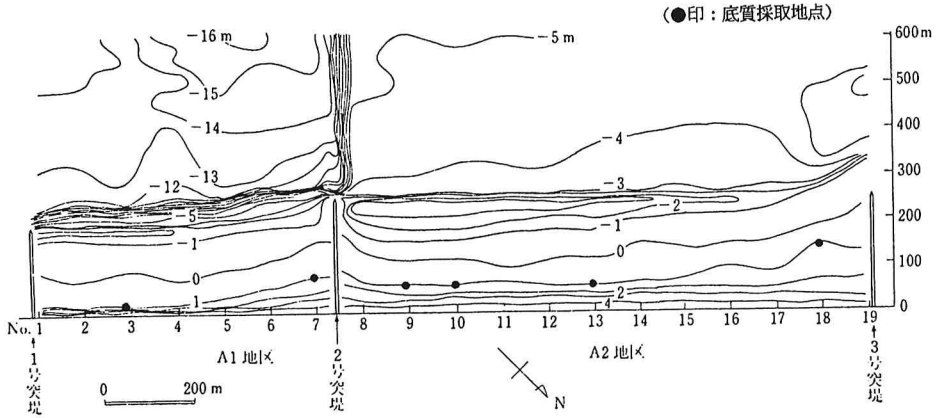


図-5 幕張A地区の深淺図

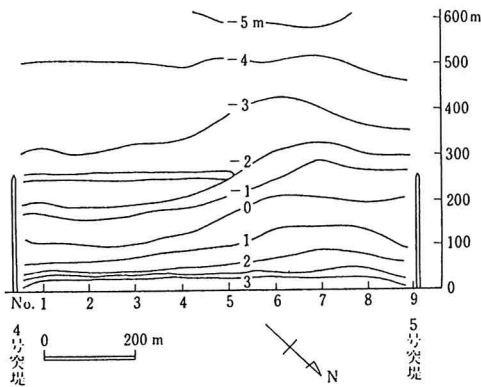


図-6 幕張C地区の深淺図

浜勾配が1/20と急であったため、養浜に用いられた海底の浚渫土砂のうち細粒分が流出したためと考えられる。以上の点より、海底勾配の設定が養浜砂の安定性を確保する上で重要なことがわかる。

次に、A₂地区では潜堤を越えて土砂が流出し、沖合のA.P.-4.5mまでの等深線が大きく前進した。この測線の陸域はほとんど侵食されなかったにもかかわらず沖合に大量の土砂が堆積したのは、A₂地区のうちほぼ中央より南側の区域で侵食された土砂が北向きの沿岸漂砂によって運ばれ、それが沖向きに流出しつつ堆積したためである。このように互いに隣接するA₁、A₂地区とで特性が大きく異なった主な原因として次の2点が指摘された。第1に、沿岸方向の長さがA₁地区の650mに対し、A₂地区は1,170mと長い為、後者では沿岸漂砂による地形変化が顕著に表われたこと。第2に、潜堤までの距離がA₁地区はA₂地区より短かく、平均的にA₁地区の方が急勾配となり沖向き漂砂が生じ易かったことである。このことから、波が斜め入射する条件では突堤間の距離と突堤の長さとの関係も重要である。

C地区では、A₂地区と同様に北向きの沿岸漂砂による地形変化が生じたことが見出された。4断面の変形より海浜断面積と汀線変化量の相関が調べられ、これより漂砂の移動高が3.2mであることが示された。この値は、浦安高洲海岸で養浜を計画する際に漂砂の活発な範囲を定める上で有効に利用できよう。

4. 空中写真による卓越波向の推定

高洲海岸と幕張の間、江戸川河口の左岸に位置する船橋海浜公園の人工海浜の空中写真を写真-1に示す。2本の突堤間において海岸護岸の法線と平行な等深線となるよう1982年に養浜が行われた。写真は1992年10月26日の状況であるが、その後の波の作用で汀線が護岸法線に対して斜向する形となった。養浜区間を分ける沖合の浅海域の限界線は護岸法線と平行形状を保っているのに対し、汀線は波の作用により斜めになったのである。2本の突堤の中央で汀線への法線を定め、その方向角を求めるとS6°Wとなる。現在、この汀線形はかなり安定していると見られることから、この方向角は当海岸での海浜変形を定める上で最も重要な卓越波の方向角に等しいと考えられる。

同様に、幕張人工海浜の1992年10月に撮影された空

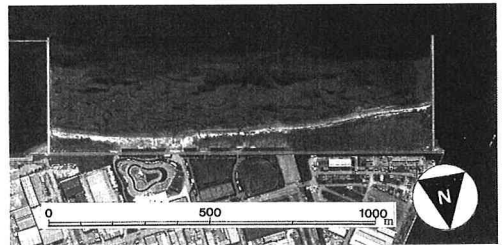


写真-1 船橋海浜公園の人工海浜の空中写真(1992年10月26日撮影)

中写真を写真-2に示す。写真左側がA₂地区、右側がC地区である。空中写真は干潮時に撮影されたために、汀線のすぐ沖合に浅海域が露出している。A₂地区の海岸線は海岸護岸とほぼ平行であるが、写真撮影時の汀線は明らかに斜めに延びている。写真-2ではA₂地区の左半分が欠けているが、図-4と比較すればA₂地区の中心線位置は定まるので、その位置で現況汀線への法線を引くと、その方向角はS41°Wとなる。同様にC地区の場合もビーチの中央で汀線への法線を引き、その方向角を求めるとS37°Wとなる。両地区での波の入射方向の平均値はS39°Wとなる。

写真-3には、検見川人工海浜の1992年1月28日の空中写真を示す。人工海浜は1989年に完成している。2本の曲線状で左右対称形の突堤に挟まれた区間で養浜が行われている。海岸護岸より突堤の先端部までの沖向き距離は400mである。突堤の付け根部分の汀線はポケットビーチ中央より突出しており、北側が64m、南側が88mである。突堤背後の汀線形状はポケットビーチの中心線に対してほぼ左右対称である。これは、平均的な波の入射方向がほぼポケットビーチの中心線の方向であることを示している。その方向角はS45°Wとなる。

5. 浦安高洲地先の海底地形変化

浦安高洲海岸は1970年代に沿岸部の埋め立てによって造成された地先の海岸である。現海岸線には、天端高A.P.7.80mの海岸護岸が設置されており、さらにその前面には消波ブロックが投入されている。ここでは護岸の老朽化・沈下対策とともに海岸環境整備の観点から、養浜工が計画されつつある。浦安地先の1962年頃の深淺図を図-7に示す。浦安地先で大規模な埋め立て工事が

行われる以前の海底地形を表す貴重な深淺図である。当時の海岸線の沖には幅2km以上の非常に広い干潟が広がっていた。江戸川の河口沖にはミオ筋が延びており、A.P.-1mまでは平坦であるが、-1m以深では-7mまで約1/60の勾配で落ち込んでいる。河口前面でのデルタ状の突出地形は、江戸川からの流出土砂が前置斜面を形成しつつ堆積して形成されたことを表わしている。等深線の三角形の突出度は河口沖のミオ筋を通る中心線からの距離が離れるとともに小さくなる。図-7には、細い破線でその後の埋め立て地の形状を示すが、埋め立ては-4m以浅の浅海域で行われたことがわかる。同様に1983年の深淺図を図-8に示す。浦安や船橋地区は埋め立て地となり、護岸で囲まれている。これらの地区の沖合にある深みは、埋め立て土砂の浚渫時に形成された掘削穴である。東京湾内では波による地形変化は浅海部でのみ生じるため、深みの地形は20年間でほとんど変化することなく、そのままの地形が残されている。

旧江戸川河口沖の空中写真(1948年3月29日撮影)を写真-4に示す。河口沖の干潟上にはいくつかの特徴が見られる。旧江戸川の沖合に延びるミオ筋を除く平坦面上にはいく筋もの縞模様が見られる。これらの模様はほぼ46m間隔で並び、干潟の外縁線とほぼ平行に並んで

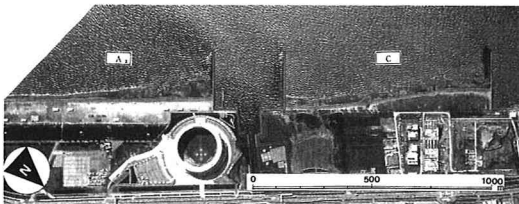


写真-2 幕張人工海浜の空中写真(1992年10月26日撮影)

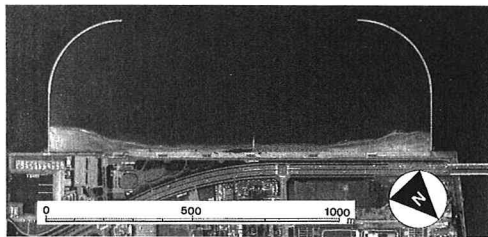


写真-3 検見川人工海浜の空中写真(1992年1月28日撮影)

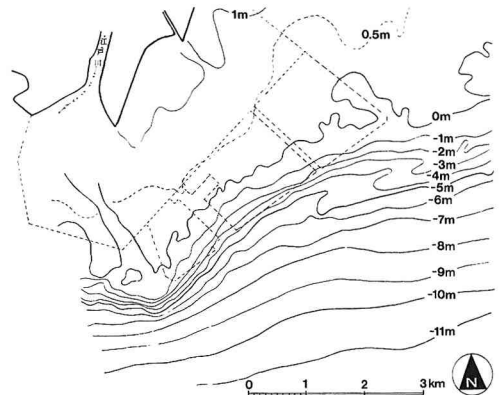


図-7 浦安沖の海底地形(1962年頃)

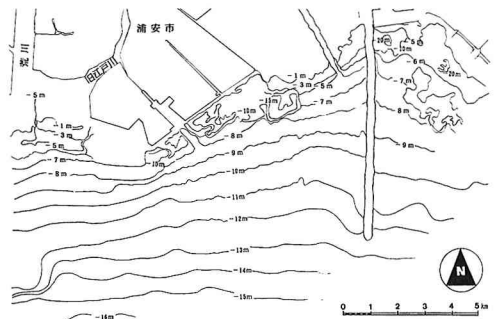


図-8 浦安沖の海底地形(1981年, 1983年)

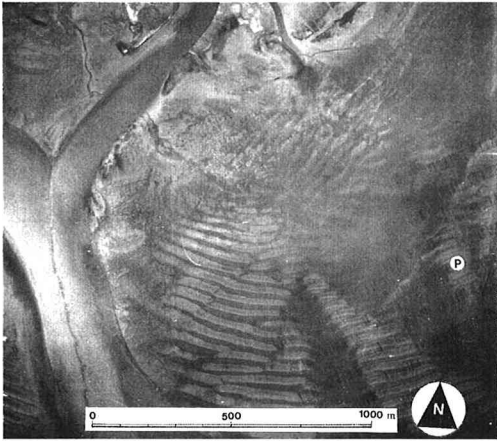


写真-4 米軍撮影の浦安海岸 (1948年3月29日撮影)

いる。そしてミオ筋近傍の潮流流速が大きいと考えられる場所では模様が見られず、しかも模様の伸びる方向が干潟の外縁線を連ねる線と平行であることから、この縞模様は波の作用により形成された沿岸砂州の一種ではないかと推定される。また、浦安沖で旧江戸川が右に大きく蛇行する部分の沖合には、この模様が2方向に伸び、千鳥模様となっているが、突出した干潟に対し屈折しつつ侵入する波が重合する条件にあり、それぞれに応じて沿岸砂州が形成されたと考えればこれも説明がつく。これらの点より、その形成原因は十分明らかではないものの、沿岸砂州がその地点における入射波とほぼ直角方向に伸びていると推定すると、写真-4に示す点P付近(現高洲海岸の近傍)で波の入射方向が推定でき、推定値は $S27^{\circ}E$ となる。さらに前出の図-7において、旧江戸川の河口デルタとして著しく突出した部分より約2 km離れた付近ではA. P. $-1\text{ m} \sim -5\text{ m}$ の等深線がほぼ平行に伸びているが、この付近は河口デルタの突出部でないことから、等深線はほぼ入射波と平行であったと推定できよう。これより卓越波の入射方向を求めると $S29^{\circ}E$ となる。この値は空中写真より推定した値にかなり近い。

6. 考 察

浦安高洲地先での養浜工を計画する際に考慮すべき事項について考える。まず、卓越波の入射方向について検討する。図-1～3に示した有効吹送距離と高洲地先の地理的特徴によれば、卓越波の入射方向は $S \sim SSW$ である。高洲海岸の護岸への法線は、 $S34^{\circ}E$ 方向へ向いているから、この法線に対する波の入射角は $34^{\circ}(S) \sim 56.5^{\circ}$

(SSW)となる。この角はかなり大きな角であり、幕張の A_2 地区で見たように突堤の間隔をかなり狭めないと下手側の突堤を越えて沿岸漂砂による土砂流出が危惧されるほどの斜め入射である。しかし、実際にはこの入射角は過大評価となる可能性が高く、むしろ図-7の過去の深浅図や写真-4で推定した値の平均値 $S28^{\circ}E$ の方が合理性が高い。ただし浦安沖では図-8に示したように沖合に掘削穴があるので、それによる波の屈折の変化については別途考慮する必要がある。このため $S28^{\circ}E$ の波を沖合へ逆屈折計算し、図-8に示した掘削穴を設定して屈折計算を行うと、最終的に波の入射角は $S28^{\circ}E$ となり、ほとんど変化しない。なお、屈折計算における波の周期には千葉港観測塔で観測されたエネルギー平均波対応の周期 3.3 s を用いた。高洲海岸では突堤間の砂浜がこの方向角と直角になるとして突堤の間隔および必要な長さを定めればよい。

図-1には、各海岸における卓越波の入射方向と現海岸線に立てた法線となす角を一括して示した。これによると、卓越波は各地点の海岸線への法線に対してそれほど大きな斜め入射ではないことがわかる。

底質粒径と海底勾配との関係においては、幕張 A_1 地区で見たように 0.2 mm 以下の細粒分を多く含む場合には仮りに潜堤を付設しても $1/20$ 勾配では急であって、底質の安定性を高めるにはこれより緩やかな勾配とすることが望ましい。一方、幕張 C 地区で求められた漂砂の移動高は 3.2 m であり、また深浅図によれば、顕著な地形変化が見られる範囲はA. P. $+2\text{ m} \sim -3\text{ m}$ の間である。したがって突堤の天端高や先端水深はこれらを参考として決定すべきである。

7. あとがき

東京湾湾奥部において人工海浜の計画を立てる場合の基本的留意点について考察を加えた。こうした計画に際しては、現地海岸で種々の測定をただちに行うことよりも、その海岸の地形的特性や、地形の変遷について十分吟味することにより、今後の安定な海浜の設計がかなり高い精度で可能なことを示した。こうした手法は簡便に利用でき、その割に有効な結果が得られることから、その重要性を改めて指摘しておきたい。

参 考 文 献

宇多高明 (1988): 幕張人工海浜における養浜後の海浜変形, 土木技術資料, Vol. 30, No. 10, pp. 33-39.