

2.2 自然環境

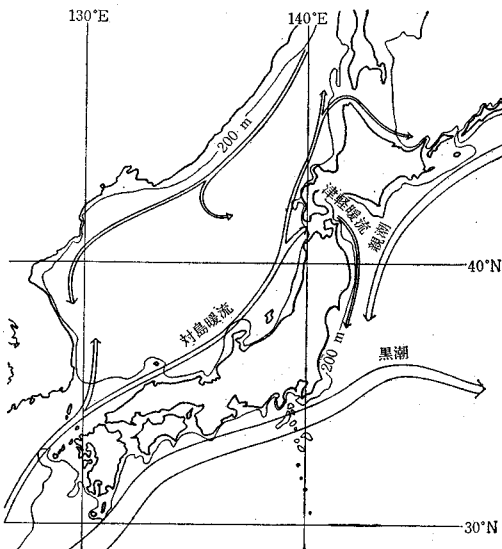
樋口 明生*

この特集で取り扱う海洋開発とは、陸棚の開発を初期の目標とするとの主旨にしたがい、ここでは、陸棚についての概観と、そこに各種の構造物を建設するとき外力となるべきことがらについて述べてみたい。

1. 陸棚

大陸の周辺にある、普通は 200 m より浅い、きわめて勾配の小さい、平らな海底で、日本近海ではオホーツク海北部、東シナ海などに発達し、幅数百 km におよんでいるが、日本列島の周辺では、幅数十 km の程度で比較的小さい。陸棚表面の平均勾配は 7' で、きわめて勾配が小さくかなり平らであるが、20 m 内外の起伏の認められる場合も多く、外縁の深さは平均して 130 m 内外である¹⁾。陸棚上のたい積物は主として砂であり、大きな河口の沖や湾、あるいは凹地には泥のたい積している

図一 本邦近辺の陸棚の分布と海流



* 正会員 理博 京都大学助教授 防災研究所

る場合が多い。陸棚の成因については明快な解答は得られていないが、起源は洪積世に始まるものと考えられ、現状の下で形成されたものではないということはいえる。

日本列島周辺の陸棚は、図一 中の 200 m の等深線で表わされるような分布をしており、宗谷海峡および朝鮮海峡付近ではかなり発達しているが、太平洋側では一般に小さい。しかし、総面積は約 28 万 km² に達し、本州より広く、国土の 76% に相当する。陸棚の地殻は陸地と同じ性質のものであるから、陸地と同様な鉱物資源の存在することが期待され、すでに石炭や石油などの資源が、この地殻の中から発見されているが、こうした鉱物資源の開発が海洋開発の望まれる要因の一つとなっている。

2. 風 と 波

よく知られているように、海上では陸上より表面摩擦が小さいから、地表風の吹き込む方向は、陸上の風より傾度風（地表の影響を受けない風）の方向に近くなり、また、その大きさは 50% 程度大きくなる²⁾。このことは、風波の発達に関係する。

冬期にはシベリヤ高気圧が非常に発達し、日本付近はいわゆる西高東低の気圧配置をしていることが多く、大ざっぱに言えば、海上ではこの期間中 10~12 m 程度の北ないし北西の季節風が吹き続く。日本海側ではこの季節の波が一番大きく、最大波高が表一に示すように、海岸付近（水深 10 m 程度）で、北海道西岸では 5.0~6.0 m、奥羽北陸海岸では 7.0 m、山陰海岸では 4.5~5.0 m、最大有義波周期が 10~14 秒の波が起こる³⁾。これらの波は海岸近くで観測されたものであり、すでに海底摩擦の影響を受けて波高が減衰したあとの波である。周期が 14 秒の波でも深海波の波長は 305.7 m であり⁴⁾、陸棚の外縁では、この周期の波は海底の影響を受けないいわゆる深海波とみなせるから、波高はこれらの数値より 50% 程度大きいと考えられる。太平洋沿岸は風下になるため、日本海沿岸ほど波は大きくない。

春は、気圧配置が冬型から夏型に変わる時期であり、天気の変動がはげしい。大陸に起源をもついわゆる移動性低気圧が、日本海を通過するころには前線が発達し、

表一 海岸付近（水深 10 m 程度）の波の特性⁵⁾

地 区	最高波高(m)	平均波高(m)	平均周期(sec)
北海道東岸	4.5~5	0.74	6.7
三陸関東東岸	5.5	0.81	9.5
東海道四国南岸	7.5~8	0.71	8.9
九州西岸	6.5~7		
山陰海岸	4.5~5		
奥羽北陸海岸	7	1.07	7.8
北海道西岸	5~6	0.76	7.8

風速が 20 m を越すところもある。この場合、強風がながく続き洋上では波高 6.0 m 以上に達することがある。また三寒四温といわれる現象があり、おだやかな日と、しけた日とが交互に現われる。

夏期は、オホーツク海高気圧と、太平洋高気圧との間にできる梅雨前線が北上して消失してしまうと夏型気圧配置となり、海上も一年中で最も静かになり、波は小さい。

秋は、大きくいえば、夏型の気圧配置から冬型の気圧配置への変換期であるが、この時期には多くの台風が発生し、そのうちいくつかは日本に近づく。台風にもなり高潮については別項に述べるが、太平洋岸では主としてこの時期に最大の波が表われる。最高有義波高は、表一に示すように海岸付近で北海道東岸では 4.5~5 m、三陸、関東東岸では 5.5 m、関東、東海道、四国の南岸では 7.5~8.0 m、九州西岸では 6.5~7.0 m 程度、最大有義波周期は 12~20 秒となる³⁾。この場合も陸棚外縁では、波高はこれらの数値より 50% 程度大きいと考えてよい。

瀬戸内海や有明海その他の内湾では、周囲の陸地の影響を受けるため、風は外洋ほど強くはなく、また吹送距離が短いために波はあまり発達しない。

3. 海 流

本邦付近の海流は、黒潮と親潮とに支配されている。主な海流の様態を 図一に示す。

黒潮は屋久島の南側から四国・本州の南側ぞいに東流し、関東沖で陸岸を離れ、北太平洋に流れ出る。途上でときどき、その分派が湾内に強い向岸流となって侵入する。この現象は大急潮とも呼ばれ、沿岸水温の上昇とともに異常に強い流れを起こす。黒潮の流速は 3~5 ノットで、冬季表面水温は 30°C 以下となるが塩分は 34.8% と高くなり、夏季には表面水温は 30°C 近くなるが、塩分は 34% 以下となる³⁾。黒潮は通常前述のように四国沖から潮岬をかすめて、三宅島・八丈島付近に向かって真直ぐ流れているが、ときには紀州沖や遠州灘沖で再び接岸することがある。これは黒潮異変といわれているが、このときには、遠州灘や熊野灘沿岸にかなり強い西向きの流れが生ずる。

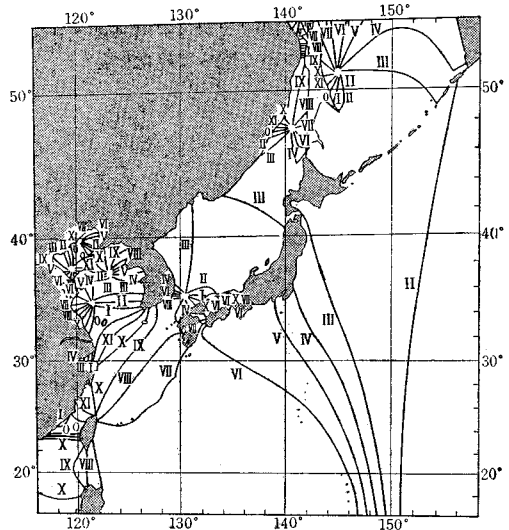
黒潮の一部は、沖縄西方で主流から分かれて九州西岸沿いに北上し、対馬暖流となり、日本海に入り、本州ぞいに北に流れる。そして大部分は津軽海峡をとって太平洋に出て津軽暖流となり、親潮の西側にそって南向きに流れる。北海道西岸ぞいに北上した対馬暖流は宗谷海峡からオホーツク海に入り、北海道東岸を南下する。北

海道南東岸には親潮が流れているが、ここ以外は、陸棚上ではほとんど黒潮系の水が流れているといえる。

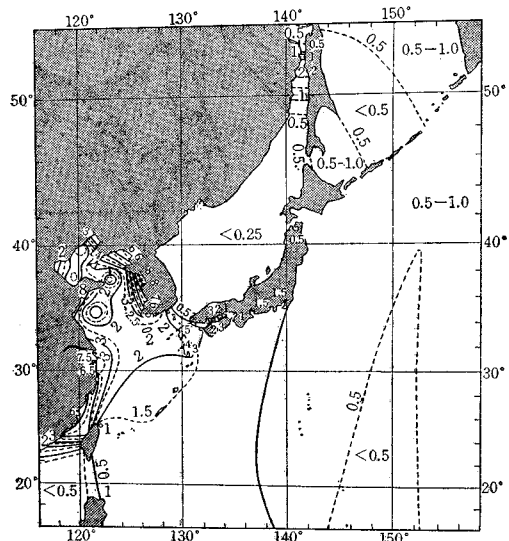
4. 潮汐およびその他の長波

潮汐の様態は、太平洋側と日本海側とでは大いに異なる。日本近海における M_2 潮の同時潮図と M_2+S_2 潮の等潮差図を 図一、二、三 に示す。これらの図より明らかなごとく、 M_2 潮は太平洋側では東から西に向かい、潮差は西に行くほど大きい。日本海側では朝鮮海峡北口付近と間宮海峡南部に無潮点が生じ、潮汐波はそのまわりを反時計回りに回転する。潮差は両海峡付近を除けば小さ

図一 日本近海における M_2 潮の同時潮図
(時は 135°E 子午線に準拠、小倉伸吉による)



図二 日本近海における M_2+S_2 潮の等潮差図
(潮差は m で示す、小倉伸吉による)



い。瀬戸内海の潮汐は、紀伊水道と豊後水道から入る潮汐波により支配されるが、燧灘を境として2つの部分に分けられ、西側では、周防灘の自由振動のために、関門海峡東端付近では大潮差は3.2mに達し、東側では明石海峡付近で潮差は最小となり、それより西では大きくなる。有明海では、最奥部では大潮差は5.0mに達する。

潮汐が浅い海を進行して行くときは、潮位は上げ潮時は急に、下げ潮時はゆるやかに変化する。これは、もとの潮汐のほかに倍振動が発達するためと考えられる。これと、周期の異なった2つの潮汐が浅い海に入ったときにできる合成潮とを総称して浅水潮というが、ごく浅い所では、これの効果も考えねばならない。

その他の長波としては、いわゆるサーフビート、エッジウェーブなどがあげられるが、現象としては興味ぶかいが、そのエネルギーは風波等に比べて小さいから、工学的には無視してもさし支えない。

5. 潮流およびその他の流れ

潮流は地形の影響を大きく受けるため、定量的に一般論を述べるのは困難である。潮汐と同様に、太平洋側と日本海側とでは様相が異なり、また外洋に面した所と、内海・内湾とでも異なる。

太平洋側では潮汐が大きいため一般に潮流は大きく、日本海側は小さい。沖合では、潮流はときとともに、たえず流向・流速を変じ、憩流を見ない。多くの所では流向は1日2回転するが、1日1回転あるいは、はなはだ複雑な流れ方をするとところもある。一般的には、以上のようにいえるが、沖合での観測例は少ない。

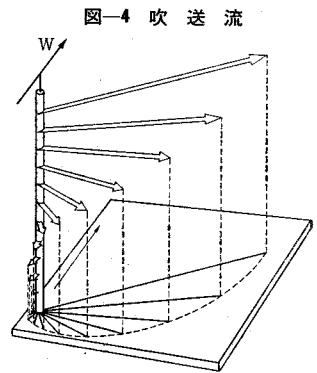
内海や内湾では、外洋にくらべると資料は多いが、地形の複雑さのために、資料は決して十分とはいえない。海峡や湾の入口のように狭くなった所では潮流は大きくなり、ときによっては10ノット以上に達することがある。表-2に本邦周辺の最強流速を示す⁶⁾。潮流の変化

表-2 海区と潮流の最強流速

海区名	上げ潮流		下げ潮流	
	(ノット)	(流向)	(ノット)	(流向)
東京海湾湾口	1.9	(北西)	1.9	(南東)
伊良湖水道	1.5	(北西)	1.7	(南東)
友ヶ島水道	3.6	(北)	3.2	(南)
明石瀬戸	7.1	(西)	5.3	(東)
鳴門海峡	9.7	(北)	10.1	(南)
備讃瀬戸中部	3.3	(西)	2.7	(東)
来島海峡	10.2	(南)	8.2	(北)
釣島水道	3.3	(北東)	2.7	(南西)
関門海峡	8.1	(西)	7.8	(東)
速吸瀬戸	5.8	(北)	4.9	(南)
平戸瀬戸	3.4	(北)	4.0	(南)
早崎瀬戸	6.1	(東)	6.6	(西)

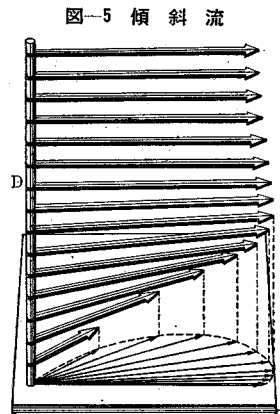
が激しく、船舶の航行の多い瀬戸内海については、特に予報のもつ意味が重要であり、この海区については、潮流図表⁷⁾がつくられており、神戸から門司に至る航路上における各瞬間の潮流の大きさと向きが、わかるようになっている。

海面上を風が吹くと波が発生するが、同時に流れも起こる。このような流れを吹送流と呼んでいるが、深い所では吹送流の向きは風向と一致せず、北半球では図-4のように表面では風下に向かって右に45°偏し、表面から下方に速度ベクトル



が、その向きと大きさを変えながら右回りにらせん状になり、ある深さでは表面と逆の方向を向くようになる。この範囲を摩擦層と呼んでいるが、その厚さは中緯度では大体100mの程度である⁸⁾。表層における流速と風速との比を風力係数と呼んでいるが、これは実測が困難で正確なことはわからないが、大体0.02~0.04の程度である。したがって、10m/secの風が吹き続けると、20~40cm/secの吹送流が起こることになる。浅海では吹送流の方向は風下方向と一致してくる。

このような吹送流が岸に向かうと、岸に海水がたい積し法線方向に海面に勾配を生ずるから、これによって傾斜流が生ずる。この流れは地球自転の影響を受けるから、深い場合には、水面勾配の方向に向かって右直角に偏する。この場合には、海底付近に図-5のような摩擦層ができる。陸岸に平行に風が吹く場合の吹送流・傾斜流の模様を、図-6に示す。



海水中に密度勾配がある場合に、このような流

図-6 風によって起こる岸に平行な傾斜流

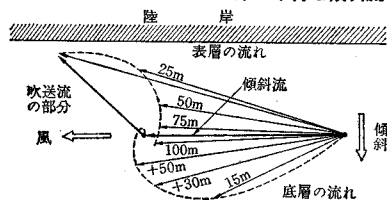
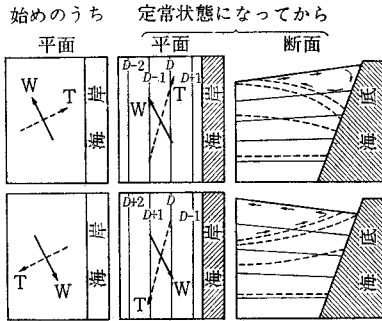


図-7 北半球における海岸に平行な流れと鉛直循環を起こす風の効果

(Wは風向, Tは水の輸送方向, D, D+1などは海面の等高線, 上の図は海岸付近での沈降, 下の図は湧昇を示す)



れが起こると, 図-7 のようになり, 北半球で陸岸を左に見て風が吹く場合には, 下層の冷たい水が, 陸岸近くに昇ってくる。このような流れを湧昇流という。こうして下から上ってきた水は水塊が異なるから, 水質が問題になる場合には注意が必要である。

6. 高潮および津波

高潮には, 気圧降下による海面の吸い上げと, 風による海水の吹き寄せとの2つの因子がある。前者は, 台風中心の移動を考慮した場合, 進行波的な性質をおび, その場所の水深に対応する長波の伝ば速度と台風の進行速度とが一致した場合には, 水位上昇量は理論上無限大になる⁹⁾。実際には, 摩擦などのために無限大になることはないが, かなり大きくなると考えられる。一方, 吹き寄せによる水位上昇量は水深に逆比例し, 同じ風速の下では浅い海ほど上昇量は大きい。

実用的には, 既往の観測資料をもとに, 沿岸各地点での最大気象潮偏差を推算する公式が用いられることがある。これは気圧の降下量 Δp と風速 U およびその地点に固有の方向と風向とのなす角 θ によって, 水位上昇量を表わすもので

$$H = a \Delta p + b U^2 \cos \theta$$

の形を取り, 常数 a および b は既往の資料から求められる。そのほか, 最近発達した電子計算機を用いて, 基本方程式を適当な境界条件のもとに解く方法があるが, 境界条件の与え方にいろいろむずかしい点があって, 現在では必ずしも満足される結果は得られないが, 将来有望な方法である。

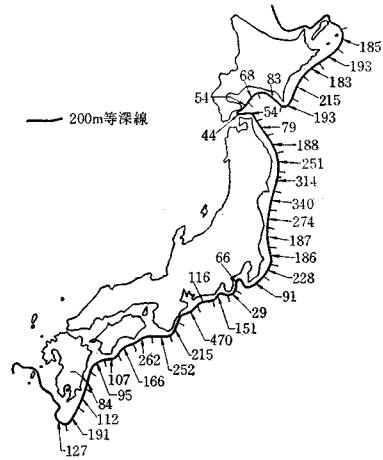
前述のように, 吹き寄せの効果は水深に逆比例するから, 比較的水深の大きい陸棚上では小さく, 高潮そのものは, せいぜい数十 m の程度と考えられるから, 特に湾奥部でない限り, 水位上昇そのものは, あまり重要な因子と考える必要はなく, むしろそれともなう流れの

方が重要な因子となるであろう。

津波は, 地震や海底火山の爆発などによって起こるきわめて波長の長い波である。これが陸地に近付くとエネルギーの集中が起こり, 湾奥が浅いV字型の湾などでは, 数十 m の高さに達することがある。水深にくらべて波長が長いから, 海水は表面から海底までは, とんど一様に動く。陸棚上での津波の資料は多くはなく, ようやく最近観測されるようになったが, 外洋では波高は小さく, 漁に出ていた漁船が港に帰ってはじめてそれと知ったという話がある。今後 100 年間に, 本邦太平洋側の 200 m 等深線上 85 km ずつの長さが受け取るエネルギーの予想量を 図-8 に示す¹⁰⁾。

図-8 津波危険度の分布

(単位 10^{20} エルグ, 高橋による)



7. 漂 砂

海岸付近あるいは海底で, 流れによって砂礫が移動する現象を漂砂というが, 海底侵食や河口閉そくあるいは港湾や航路の埋没などの原因となり, 土木工事に重要な調査対象となっている。漂砂の主な原因は, いうまでもなく波の運動とこれともなう流れであるが, 場所によっては潮流が重要な原因になることがある。海岸付近における波に起因する漂砂については, 構造物の保全の必要性から, 多くの調査が行なわれ, 実態はかなり明らかにされているが, 深い所での資料は少ない。潮流による砂の移動が, 条件によっては起こることは明らかで, たとえば明石海峡など, 瀬戸内海の内海海峡部の多くで, 海底に岩盤が露出しているのはこれを物語るものである。また, 瀬戸内海の備讃瀬戸付近では, 航路整備のために漂砂の調査が行なわれたが, 水深 7~8 m 程度の所で, 波長 200~300 m, 波高 1.5 m のサンドウェーブが随所に見られ, 短期間に起こる地形変動はかなりはげしいこと

がわかった¹¹⁾。これは、最大 100 cm/sec の潮流によるものである。

さらに、深い陸棚上における漂砂についてはほとんど資料がないが、構造物を設置する場合には重要な問題であるから、あらかじめ調査しなければならない。

8. その他

以上陸棚の開発に際して問題となりうる要素について概略を述べたが、もちろんこれだけ考えればよいというものではなく、ほかにも多くの問題が残されている。たとえば、オホーツク海沿岸を対象とする場合には、冬期の海水が重要な問題になるであろう。また、ここではふれなかったが、海底地質、海水の性質に起因する構造物の腐食、あるいは付着生物など、重要な課題が多く残されている。

ここに述べたのはあくまでも一般論であり、実際に計画を進める場合には、比較的長期にわたる詳細な現地調査が必要である。

参考文献

- 1) 和達清夫監修：海洋の事典，東京堂，1960，p. 579
- 2) 同上，p. 64
- 3) 坂本信雄・井島武士・木村茂雄：日本沿岸の波の一般分布，第8回海岸工学講演会講演集，1961，pp. 13~18
- 4) 土木学会編：水理公式集，1963，pp. 448~449
- 5) 前出 1) p. 217
- 6) 海上保安庁：潮汐表 1，1968，pp. 187~258
- 7) 海上保安庁：潮汐表 2，1963，巻末
- 8) 防災ハンドブック編集委員会：防災ハンドブック，技報堂，1964，p. 627
- 9) 前出 1) pp. 561~562
- 10) 前出 4) p. 275
- 11) 赤木正典・中野拓治・田中則男・入江 功：備讃瀬戸の漂砂調査について，第12回海岸工学講演会講演集，1965 p. 123

鉄筋コンクリートの新しい計算図表〔RG〕

B5判 上製箱入 計算図表 120枚
定価 2,500円 送料180円

上前行孝 岡田哲夫 共著
玉野治光 小林 勲

- 電子計算機より便利な数表
- 時代の要求に応じた最近の設計方法に適合

本書の特色

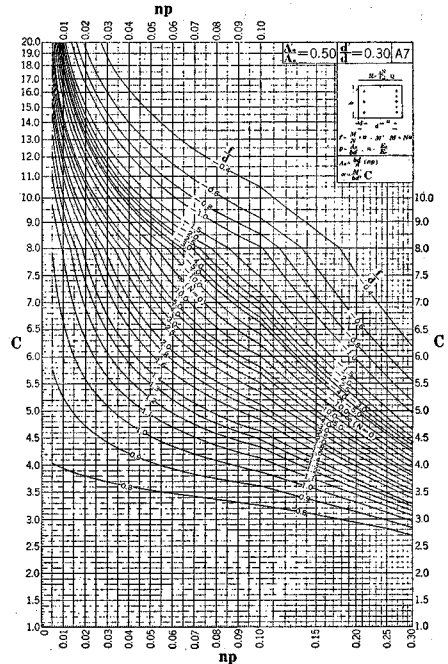
- (1) 図表の引き方，計算の仕方が非常に簡便で鉄筋量の算定，応力度の計算が同一の図表からダイレクトに求められます。
- (2) 圧縮力または引張力と曲げモーメントを同時にうける断面についても，曲げモーメントのみをうける場合と全く同じ要領で簡単に求められます。
- (3) 鉄筋とコンクリートのヤング係数比 n は15に限らず任意の値でも全く同様に求められます。
- (4) 円形断面，円環断面のせん断応力度の計算も上記と同様に簡単に求められます。

本書の内容

- (1) 曲げモーメントまたは軸力(圧縮力および引張力)と曲げモーメントを受けた時の鉄筋およびコンクリートの応力度
 - (2) せん断力または軸力とせん断力を受けた時のコンクリートのせん断応力度
- (1)(2)について
(イ) 長方形断面 (ロ) 長方形周囲鉄筋断面 (ハ) 円形断面 (ニ) 円環断面

近代図書株式会社

東京都千代田区九段北1の6の7 電話 263-3871, 3872 振替東京 23801



- 33 - 内容見本