

浅水域における航跡波の実測

大阪大学工学部 正会員 出口一郎、榎木 亨

大阪大学大学院 学生員 本田耕一

1. まえがき：吹送距離の短い内海あるいは内湾において発生する風波は一般には小さく、外海からの進入波が無い場合にはそこを航行する船舶によって引き起こされる航跡波がその領域の卓越波浪となる場合も想定される。特に船舶が頻繁に航行する港湾内あるいはフェリー等の航路近くの海岸においては、航跡波の影響は無視し得ないものと考えられる。

本研究は、後者の海岸の一例である兵庫県津名郡松帆地先海岸の浅水域において波浪実測を行い、風波に比べて航跡波がどの程度の大きさを占めるかということについて考察したものである。

2. 松帆地先における波浪実測：松帆地先海岸は淡路島北西端に位置し、その沖は明石と岩屋を結ぶカーフェリーと小型客船が頻繁に航行している。波浪実測は、1988年9月7日日本四公団松帆作業基地西側に隣接する海岸の水深1.0-1.3mの地点に2台の圧力式波高計を設置して行った。また、測定された水位変動と航行船舶との対応を明らかにするため、沖合いを航行する船舶の位置を図1に示す2点に設置したトランシットによって30sec間隔で測定した。図1には実測された船舶の航跡の数例も示してある。圧力式波高計からの出力は、 $\Delta t=1/10\text{sec}$ で離散化し、 $f=0.01\text{Hz}$ 以下の変動成分を数値フィルターで除去した後 $Kh=3$ ($K=2\pi/L$) となる周波数で cut-off した線形応答関数を用いて水位変動に変換し、各種統計量の計算を行った。

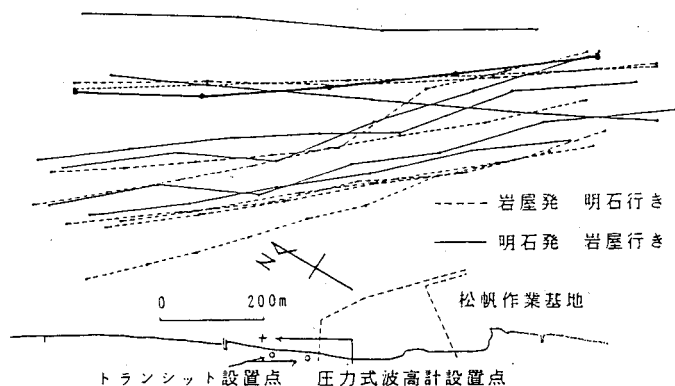


図1 波高実測地点と航跡図

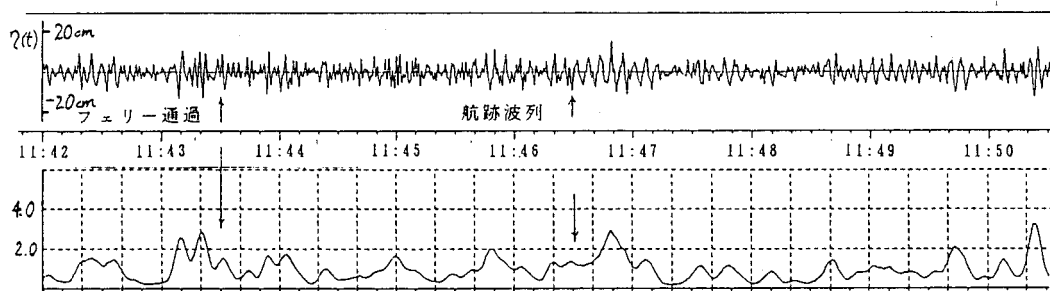


図2 水位変動時系列とS IWEH時系列

Ichiro DEGUCHI, Toru SAWARAGI, Koichi HONDA

計算された時系列 $\eta(t)$ の一例を図2の上段に、 $\eta(t)$ から計算される S I W E H の時系列を下段に示す。また、図2に示す $\eta(t)$ の測定時間内に図1に太線で示すフェリーが通過（波高測定点の正面を通過したのは11:43'50"）している。波浪実測を行った9月7日は低気圧が通過した直後で、最大約10m/s程度の西風が吹いており、図2からも明らかなように、測定された水位変動はほとんどが風波による水位変動である。したがって、航跡波と風波を明確に区別するのは困難ではあるが、航跡波列は風波と異なり波峰が長く連なっていることから目視観測では容易に判別でき、目視により航跡波が波高測定点に到着し始めた時間も図中に示してある。なお、図2に示す $\eta(t)$ の時系列の有義波高($H_{1/3}$)は15.1cm、有義周期($T_{1/3}$)は3.65sec、平均周期(T)は2.81secであった。図2より明らかなように、航跡波が到達した後から S I W E H は増加し、その高まりは数十秒継続するがその中には7波の波浪が含まれておりその周期は約5sec 最大波高は約25cmである。S I W E H の時系列には、航跡波とは関係の無いピークも現れているが、そこに含まれる波数は一定せず、周期も短く約2-3sec程度で、これはさきに述べた平均周期と一致する。

3. 航跡波の波高及び周期について：日本海難防止協会の資料に基づいて松帆沖を航行する船舶によって生ずる航跡波の特性について考察する。それによると、①満載排水量 ($V(m^3)$)、最大軸馬力 (SHPm) で航海速度 ($V_k(kt)$ あるいは $V(m/sec)$) で航行する、②造波馬力 (EHPw) が(1)式で表される、という仮定の元で船長 $L(m)$ の船舶によって引き起こされる特性波高 $H(m)$ 及び周期 $T_w(sec)$ はそれぞれ次式で表される。

$$EHPw = EHP - EHPf \dots (1), \quad H = (L/100)^{1/3} (EHPw / (2.2 L V_k))^{1/2} \dots (2) \quad T_w = 0.64 V \dots (3)$$

ここに、 $EHP = 0.6SHPm$ 、 $EHPf = (\rho/2) S V^2 C_f V / 75$ 、 $S = 2.5 (V L)^{1/2}$ 、 $V = 0.514 V_k$ 、 $C_f = 0.075 / (\log(V L / \nu) - 2)^2$ である。これらを図1にその航跡図を示すフェリー及び小型客船に適用する。表1はこれらの船舶の代表的な諸元と(1)-(3)式に基づいて計算された特性波高及び周期を示したものである。ただし、いずれも満載排水量は不明のため総トン数を示した。なお、平均速度は図1に数例を示した航跡図から読み取った対地速度であり、潮流の流速も含まれており、船型による差異は顕著でなく沖側を航行する船舶の方が速度が速い。表1の周期欄には実測された平均速度に対して計算される値を記入してある。

表1 フェリー及び小型客船の諸元と特性波高、周期

表1よりフェリー及び小型客船によって

	フェリー			小型客船
	I	II	III	
船長 $L(m)$	50.2		45.1	36.0
総トン数 $V(ton)$	630		480	188.8
航海速度 $V_k(kt)$	12.0		12.0	13.0
平均速度 $V_{km}(kt)$	10-16			12-16
最大軸馬力 (SHPm(HP))	1600	1000	1000	1000
特性波高 $H(cm)$	58.4	41.2	44.3	47.4
周期 $T(sec)$	3.3-5.3			3.9-5.3

波高40-60cm、周期4-5sec程度の波が発生する可能性がある事が分かる。また、図1に太線でその航跡を示してあるフェリーは、波高測定点の沖約480mの地点を16kt (8m/sec) で航行していた。このフェリーによって造波される波浪の波高は40-60cm、周期は5.3secと予想されるが、図2に示す水位変動から読み取れる波高と周期はさきに述べたように約25cm及び5secである。したがって、航跡波が約480m伝播する間に周期は変化しないが波高はほぼ半減した事になる。Johnsonの実験結果によると一様水深における航跡波の減衰は、 $H = H_{max}(x/L)^{-1/6}$ (x : 航路からの垂直距離) で表される。松帆沖の平均水深を10mとし、 $T=5sec$ の波浪が480m伝播する間の減衰を上式で計算するとその減衰率は0.65となり、測定された波高の減衰率よりは大きくなる。なお、松帆地先において風資料から計算されるエネルギー平均波の波高、周期は16cm、1.8sec (南から北へのエネルギーfluxに対して)、31cm、4.0sec (北から南へのエネルギーfluxに対して) である。

4. あとがき：以上の考察より、松帆沖を航行するフェリー及び小型客船によりエネルギー平均波程度の波高を持つ波浪発生し、浅水域まで達する事が分かった。しかし本実測においては、波向に対する情報が得られなかったため、航跡波の浅水変形に対する十分な考察が行えなかった。今後さらに実測を継続し、航跡波の浅水変形に対する検討を加えて行く予定である。