

愛媛大学工学部 正員 山口 正 隆
京大防災研究所 正員 土屋 義 人
建設省徳島工事事務所 山下 功

1. まえがき：本研究は、琵琶湖で実施した大規模な波浪観測の資料の解析結果に基づいて、深海域から浅海域に至る波浪の統計的性質とその変形特性を詳細に検討しようとするものである。
2. 観測の概要および解析方法：解析に用いた資料は汀線とほぼ直角方向の水深約1 m, 2.2 m, 3.5 mおよび4 mの地点に設置された4台の容量型波高計によるものであり、汀線より波高計までの距離はそれぞれ35 m, 67 m, 167 mおよび247 mである。有義波の解析はサンプリング間隔 $\Delta t=0.1\sim 0.6\text{sec}$ およびデータ数 $N=4100\sim 10250$ 個の条件で行い、一方向波数スペクトルは $\Delta t=0.2\sim 0.4\text{sec}$, $N=2048\sim 4096$ の資料をFFT法で解析することにより得られた。スペクトルの本数は42~85であり、自由度は46~190である。なお、今回の観測で得られた波浪特性の範囲は、 $1.86\text{sec}\leq T_{1/3}\leq 3.82\text{sec}$, $0.22\text{m}\leq H_{1/3}\leq 1.00\text{m}$, $2.94\leq T_{1/3}/T_m\leq 10.5$ および $0.057\leq H_{1/3}/h\leq 0.823$ である。ここに、 $H_{1/3}^{(u)}$ および $T_{1/3}^{(u)}$ ：水深4 m地点での有義波高および有義波周期，である。
3. 波浪の統計的特性：表-1および表-2は波浪観測結果500例を波高と周期の相関係数 ρ ごとに分類し、それぞれ

表-1

	Rank of ρ			All data	All data	Flowers
	0.5 - 0.6	0.6 - 0.7	0.7 - 0.8	Deep water	Rayleigh	
$\bar{c}$	49	349	105	500	173	
$H_{\max}^{(u)}/H_{1/3}^{(u)}$	1.660(0.185)	1.629(0.161)	1.601(0.160)	1.626(0.164)	1.644(0.142)	
$H_{1/10}^{(u)}/H_{1/3}^{(u)}$	1.256(0.041)	1.250(0.035)	1.244(0.037)	1.249(0.036)	1.251(0.035)	1.272
$H_{1/2}^{(u)}/H_m^{(u)}$	1.577(0.041)	1.600(0.038)	1.654(0.042)	1.605(0.047)	1.615(0.043)	1.597
$H_{\text{rms}}^{(u)}/H_m^{(u)}$	1.215(0.015)	1.130(0.018)	1.143(0.015)	1.124(0.017)	1.141(0.017)	1.128
$H_{1/2}^{(u)}/T_m$	3.890(0.157)	3.912(0.107)	3.871(0.106)	3.901(0.114)	3.902(0.087)	4.004
$\eta_{1/3}^{(u)}$	0.510(0.035)	0.527(0.036)	0.552(0.031)	0.531(0.033)	0.553(0.029)	0.522
$H_{1/3}^{(u)}/H_{1/3}^{(u)}$	0.200(0.036)	0.190(0.026)	0.193(0.028)	0.196(0.027)		
$T_{\max}^{(u)}/T_{1/3}^{(u)}$	0.900(0.085)	1.003(0.087)	1.002(0.102)	1.002(0.091)	0.998(0.075)	
$T_{1/10}^{(u)}/T_{1/3}^{(u)}$	1.000(0.030)	1.007(0.026)	1.012(0.030)	1.008(0.028)	1.010(0.027)	
$T_{1/2}^{(u)}/T_m$	1.171(0.030)	1.229(0.036)	1.297(0.040)	1.238(0.050)	1.222(0.039)	
$T_{\max}^{(u)}/T_m$	1.058(0.032)	1.065(0.011)	1.075(0.009)	1.065(0.012)	1.062(0.009)	$T^2\text{-Rayleigh}$
$c_{1/3}^{(u)}$	0.341(0.034)	0.359(0.027)	0.393(0.025)	0.364(0.032)	0.354(0.027)	0.281
$T_{1/3}^{(u)}/T_{1/3}^{(u)}$	0.146(0.029)	0.149(0.022)	0.159(0.022)	0.151(0.023)		
ρ	0.565(0.055)	0.658(0.026)	0.727(0.019)	0.664(0.049)	0.663(0.040)	
$\sigma_{1/3}$	-0.014(0.131)	0.039(0.111)	0.054(0.114)	-0.037(0.115)	0.032(0.106)	
$\beta_{1/3}$	0.844(0.189)	0.540(0.211)	0.512(0.208)	0.554(0.209)	0.199(0.049)	
$\beta_{1/2}$	3.237(0.286)	3.220(0.301)	3.137(0.312)	3.204(0.304)	3.069(0.136)	

表-2

	Rank of ρ			All data	All data
	0.5 - 0.6	0.6 - 0.7	0.7 - 0.8	Deep water	
N	49	349	105	500	173
$T_{1/3}^{(u)}/T_m$	0.933(0.063)	0.953(0.052)	0.983(0.054)	0.958(0.055)	0.983(0.025)
$T_{1/10}^{(u)}/T_m$	0.909(0.036)	0.897(0.037)	0.888(0.037)	0.896(0.037)	0.889(0.034)
$T_{1/2}^{(u)}/T_m$	0.778(0.041)	0.731(0.044)	0.685(0.039)	0.726(0.049)	0.728(0.041)
$T_{\max}^{(u)}/T_m$	0.724(0.051)	0.696(0.045)	0.674(0.041)	0.694(0.047)	0.715(0.036)
$T_{1/3}^{(u)}/T_{1/3}^{(u)}$	0.800(0.060)	0.766(0.041)	0.750(0.039)	0.766(0.043)	0.780(0.035)
$T_{\max}^{(u)}/T_{1/3}^{(u)}$	1.106(0.025)	1.102(0.019)	1.112(0.017)	1.105(0.020)	1.091(0.012)
$\bar{c}$	0.814(0.047)	0.819(0.049)	0.840(0.025)	0.816(0.047)	0.808(0.045)
$\sigma_{1/3}$	0.469(0.058)	0.461(0.046)	0.491(0.037)	0.468(0.047)	0.436(0.050)
$\eta_{1/3}$	0.402(0.052)	0.472(0.056)	0.532(0.047)	0.478(0.064)	0.469(0.054)
ρ	2.608(0.457)	2.426(0.377)	2.349(0.321)	2.426(0.380)	2.541(0.355)

それぞれの各種波高比および周期比などの平均値および標準偏差を求め、4 m水深での著者らによる観測結果および理論結果と比較したものである。ここに、 σ_H および σ_T ：波高および周期の標準偏差， $\sigma_{H/3}$ ， $\sigma_{T/3}$ および $\rho_{1/3}$ ：有義波算出に用いた波高および周期の標準偏差とそれらの間の相関係数， σ_c ：水位変動の標準偏差， T_E ：スペクトルの積率から求めた平均周期， T_p ：スペクトルのピーク周期および Q_p ：Spectral peakedness，である。さて、まず波高比についてみると、本研究の結果は $H_{\max}/H_{1/3}$ を除き、Rayleigh分布に基づく理論値および深海性の波浪の観測結果とほぼ一致している。したがって、碎波の影響を受ける高波高の部分を除き、zero upcross 法で定義された波高の分布は浅海領域の場合も含めて、Rayleigh分布で近似できることになる。しかし、浅海域において碎波の影響を強く受ける場合には、波高分布が変化するため、詳細は波高分布を含めた検討によらなければならない。一方、周期比についてみると、平均的には深海性の波浪の場合と同様に、 $T_{\max}/T_{1/10}\sim T_{1/3}$ が成立すると考えられる。しかし、 $T_{1/3}/T_m$ は深海性の波浪よりやや大きくなって、合田らによる沿岸波浪による結果($0.6\leq\rho\leq 0.9$ に対し、 $T_{1/3}/T_m=1.252$)により近づいている。また、 σ_T/T_m も同様であり、 T^2 -Rayleigh分布を適用して得られる結果より周期の分布幅がより広がっている。さらに、相関係数の増加は波高および周期の短かい波の増加に対応するので、有義波の特性があまり変化しないまま、平均波高および周期が減少することになる。したがって、表中の平均波あるいは周期幅およびスペクトル幅に關係するパラメータは ρ とともに変化することになる。それに対して、 $H_{1/3}$ ， $T_{1/3}$ および T_p などは比

較的安定な統計量であり、 ρ による変化はあまり大きくない。しかし、図-1 および図-2 に示すように、 T_{V3}/T_p および $\sigma_{T_{V3}}/T_{V3}$ は Q_p により変化する。すなわち、スペクトル形が尖鋭になるほど、有義波算出に用いる波の周期の幅が狭くなり、有義波周期も長くなる。

4. 水深変化に伴う波浪の変形特性：波浪の変形を支配するパラメーターとして各種のものが考えられるが、ここでは、 H_{V3}/h を用いることにする。図-3 は相関係数の H_{V3}/h による変化を示したものである。合田は日本各地での観測結果の解析に基づいて、浅海域になるほど、 ρ が増加することを示唆しているけれども、この図からは、そうした傾向は見出せない。多少の変動を無視すれば、同様の傾向は H_{max}/H_{V3} と H_{V3}/σ を除く表-1 の各種波高比、各種周期比、および表-2 の T_m/T_p についてもうかがえる。また、上述の各種周期の H_{V3}/h による変化を調べた結果、観測の範囲内では、 T_{max} 、 T_{V10} 、 T_{V3} 、 T_m および T_p は水深変化に伴ってあまり変化しないことが見出された。つぎに、浅海性（波浪の非線型性）の影響を顕著にうける統計量の例を示したのが、図-4～図-9 である。これらの統計量のうち、 H_{max}/H_{V3} 、 T_z/T_p および Q_p は砕波や非線型干渉により水深減少に伴って減少する。すなわち、ある水深で存在する最高波高、みかけの平均周期およびスペクトルの尖鋭度が減少する。一方、 H_{V3}/σ 、 $\sqrt{\beta}$ および β は H_{V3}/h とともに増加する。これらのうち、正規分布からのへだたりを表わすパラメーターである後二者の傾向は当然であるが、比較的安定な値を与えるといわれていた H_{V3}/σ が波の非線型性の増加に伴って増加するのはきわめて興味深い。図-10 はスペクトルの高周波側の勾配 m の H_{V3}/h による変化を示したもので、浅海域になるほど勾配が小さくなる傾向がある。

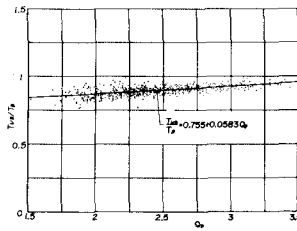


図-1

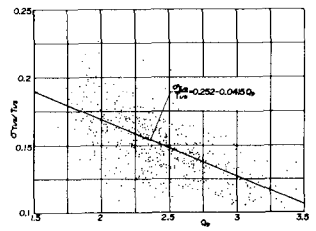


図-2

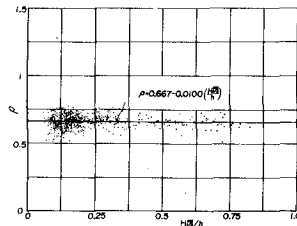


図-3

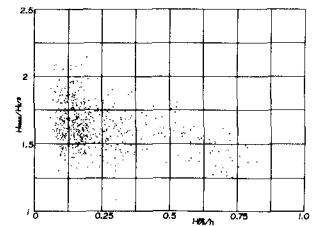


図-4

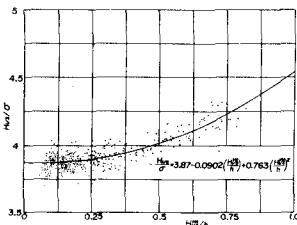


図-5

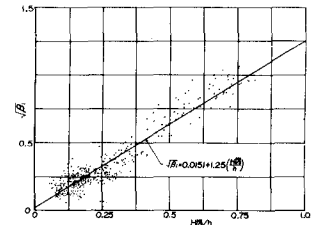


図-6

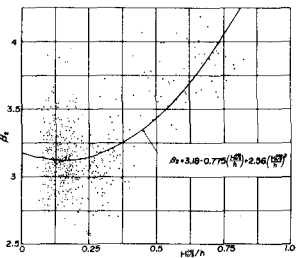


図-7

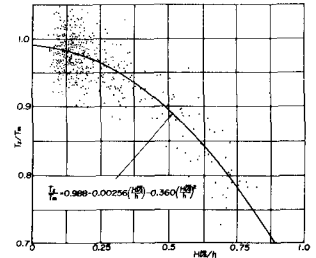


図-8

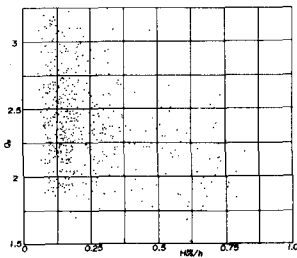


図-9

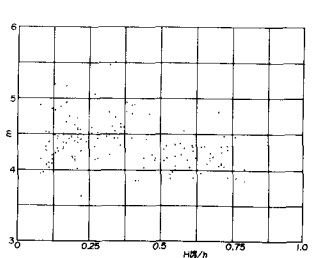


図-10