

実測データによる風波現象の評価法の検討

東海大学大学院海洋工学専攻 ○学生員 田中 満
東海大学海洋土木工学科 正員 田中 博通

1. 研究目的

近年、海洋開発の進む中で沿岸部のスペースの減少から、大水深海域に利用空間が進展している。特に海上空港のような大型浮体構造物を設計する場合においては、自然環境外力として波浪外力・潮汐力・風荷重を考慮する必要がある。中でも、風荷重である海上風の観測は観測条件の厳しさから、測定例は少ないのが現状である。

そこで本研究は、大井川港沖合にある観測塔を利用して、多点風速計、超音波水位計等を用いて海上風と波浪の同時観測を行い、その観測データをもとに海上風の風速高度分布を求め、粗度パラメータ、摩擦抵抗係数等の算定をおこない、風波の定量的な評価方法を検討することを目的としたものである。

2. 観測方法

観測は静岡県志太郡大井川町の約 250m 沖合にある国土交通省所有の海洋技術総合研究施設で行った。観測日時は 2000 年 10 月 19 日～22 日、同年 11 月 28 日～30 日である。

風速の測定においては、多点風速計センサー 8 本を 0.5～2.5m 間隔で観測用ポールに取り付け、超音波水位計、微差圧計、温度センサー、超音波風速計もそれぞれ取り付け同時観測を行った。サンプリングタイムは、5Hz、1 ケースの測定データ数は 16384 個とした。観測によって得られた全測定結果から風向が観測施設の後流域になっていない 23 ケースについての解析を行った。表・1 に観測結果を示す。²⁾

3. 観測結果及び考察

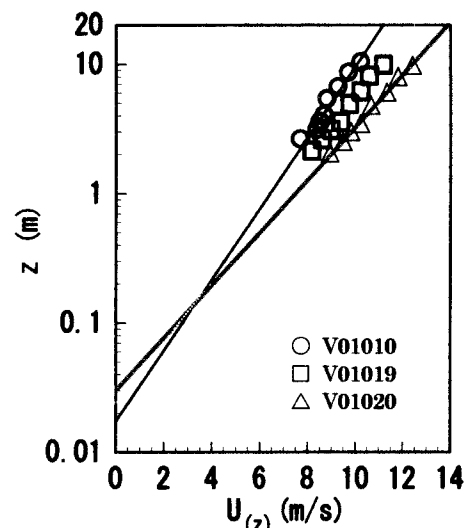
(1) 粗度パラメータ

風速分布は、高さ方向に対数則が成り立つ(図・1)ので、式(1)を用いて粗度パラメータ z_0 を求めた。

$$U_{(z)} = \frac{u_*}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \dots \dots (1)$$

ここで、 z : 水面からの高さ、 $U_{(z)}$: 高さ z のときの風速、 u_* : 摩擦速度、 κ : カルマン定数(0.4)、 z_0 : 粗度パラメータである。図・1 のように片対数グラフ上で直線となり、 z_0 は $u=0$ となるとき z の値である。 z_0 は、境界面の状態を表すパラメータで、その上空の気流の乱流特性に大きな影響を及ぼすものである。 $Lo^{(3)}$ によれば、 z_0 は定数ではなく風速が増すと、 z_0 は増加する傾向にあるとしている。海上においても、強風によって海面上で強い渦運動が起こり、弱風時よりも活発に波間に侵入して、砕波を発生させることから z_0 の増加傾向がうかがえる。

今回行った観測でも、風速とともに増加する z_0 の傾向がみられた。また、有義波高と z_0 の関係においても同様の関係がみられた。



図・1 風速高度分布

(2) 摩擦係数(C_D)と風波の波齢

摩擦係数 C_D は、 $z=10(m)$ としたとき、式(2)より求められる。

$$U_{(10)} = \frac{u_*}{\sqrt{C_D}} \dots \dots (2)$$

中立成層において、ある程度風が強く、水面が粗面のとき式(1)と式(2)より、 z_0 と C_D の間には対応した関係があるといえる。

Stewart(1974)⁴⁾の無次元化した粗度パラメータ z_0^*

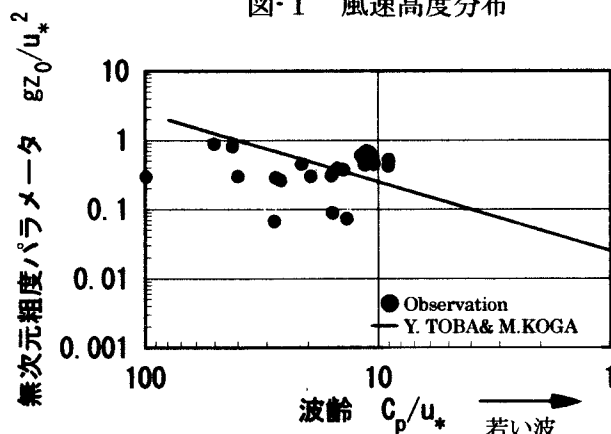
$$z_0^* = gz_0 / u_*^2 \dots \dots (3)$$

が、風波の発達状態を示すパラメータである波齢(C_p/u_*)の関数として表せるとした。式(4)

$$z_0^* = f(C_p/u_*) \dots \dots (4)$$

ここに、 C_p は風波のスペクトルピークの位相速度である。

今回観測したデータをこの関係にもとづいてプロットしたものが図・2 である。また、実線は Y.TOBA & M.KOGA が式(4)の関数について示した式(5)より求めたものを



図・2 波齢と無次元粗度パラメータの関係

表している。

$$z_0 = \gamma u_* / \sigma_p, \gamma = 0.025 \dots \dots (5)$$

図-2によると、波齢が大きいすなわち、波が十分発達した状態の無次元粗度パラメータの値は、若干のばらつきはあるがおおよそ Y.TOBA & M.KOGA の示した式に適していると言える。しかし、今回の観測データでは波齢の小さい発達過程のデータが得られていないことや、風向と波向きを検討もなされていないため、この評価法の十分な検討が行なえたとは言えない。その他、関数について様々な提案がなされているが、実際のデータと十分な一致を得るまでにはいたっていない。

(3) wave-braking parameter(R_B)による検討

Y.TOBA & M.KOGA は、

$$R_B = u_*^2 / \nu \sigma_p \dots \dots (6)$$

という無次元のパラメータを提案している。ここで、 ν :動粘性係数、 σ_p :風波のピーク周波数である。これは、大気と海の両境界層を評価するパラメータ(摩擦速度と風波のピーク周波数)を含んでいる。図-3 には比較のため、鳥羽らが集めた風洞水槽による風波実験の結果も合わせて載せてある。

図-3 によると、大きな傾向は一致するようであるが、風洞水槽実験値に比べて、大きめに摩擦係数が出ていて、R_Bの増加とともにこの幅は大きくなっている。これは、観測時の風波が十分発達して、うねりの影響が強く出ていたためと考えられる。11月のデータを別記号で示したのは、観測において風向が定まらず、風向と波向きのずれが生じていた可能性が考えられるためである。

4.今後の課題

今回の検討は、大気安定度が中立状態という仮定のもとでの風速の対数分布則を適用したものであった。今後は、温度分布から安定度を考慮した風速分布を求め、また波向きのデータをも考慮した総合的な解析を行う予定である。

5.参考文献

1) Y.Toba, U.Suzuki, S.Komori, and D.Zhao,Ustable Transfer Coefficients:Similarity in Air-Sea Momentum And Gas Transfers With Outstanding Questions. Sixth International Carbon Dioxide Conference, pp.699-702,(2001)
2) 田中 博通, 田中 満, 南 将人:海上風の粗度パラメータと摩擦係数について, 第 48 回海岸工学論文集,pp451-455, 土木学会(2001)
3) Lo,A.K.:Boundary layer flow over gentle curvilinear topography with a sudden change in suface roughness, Quart. Jour. Roy Meteor. Soc., 103,pp. 199-209,(1977)
4) Stewart, R.W.: The air-sea momentum exchange. Boundary-Layer Meteor.,6,pp151-167(1974)
5) 鳥羽良明編: 海の波と海面境界過程(気象研究ノート第 180 号), 日本気象学会(1993)

表-1 風速測定結果と対数則に基づく諸量

Case	U ₁₀ (m/s)	T(°C)	Z ₀ (m)	C _D	u _* (m/s)	T _{1/3} (s)	H _{1/3} (m)	v(m ² /s)	S _p =1/T _{1/3}	R _B	C _p	u _* /C _p	g·Z ₀ /u _* ²	最多風向
October 19-22,2000														
V01000	2.39	21.69	0.00023	0.00140	0.089	5.8	0.77	0.000153	0.172	300	8.709	0.0102	0.285	E
V01001	3.22	21.36	0.00198	0.00220	0.151	6.2	0.86	0.000153	0.161	926	7.526	0.0201	0.852	ESE
V01002	3.77	21.04	0.00262	0.00235	0.181	6.1	0.87	0.000152	0.164	1312	7.525	0.0241	0.784	ENE
V01003	4.29	21.00	0.00103	0.00190	0.187	5.7	0.93	0.000152	0.175	1309	7.373	0.0254	0.289	E
V01004	6.50	20.47	0.00523	0.00280	0.344	5.4	0.87	0.000152	0.185	4210	7.243	0.0475	0.433	NE
V01005	5.82	19.95	0.00214	0.00224	0.276	5.9	0.88	0.000151	0.169	2970	7.515	0.0367	0.275	NNE
V01006	7.38	20.29	0.00428	0.00266	0.381	5.5	0.90	0.000152	0.182	5266	7.322	0.0520	0.289	NE
V01007	6.09	23.42	0.00212	0.00224	0.288	5.8	0.89	0.000154	0.172	3114	7.468	0.0386	0.251	NNE
V01008	8.31	20.52	0.00606	0.00291	0.449	5.1	0.84	0.000152	0.196	6772	7.046	0.0637	0.295	NE
V01009	8.75	19.70	0.00975	0.00333	0.505	5.9	0.93	0.000151	0.169	9959	7.423	0.0880	0.375	NE
V01010	10.08	19.83	0.01736	0.00396	0.634	5.5	0.97	0.000151	0.182	14621	7.163	0.0885	0.424	NE
V01011	9.43	20.09	0.02241	0.00430	0.618	5.8	0.98	0.000151	0.172	14627	7.243	0.0853	0.575	NE
V01012	9.42	20.17	0.02767	0.00461	0.640	5.7	1.02	0.000152	0.175	15410	7.152	0.0895	0.662	NE
V01013	9.73	20.28	0.02931	0.00470	0.668	5.9	1.13	0.000152	0.169	17365	7.205	0.0927	0.644	NE
V01014	9.97	20.21	0.02579	0.00450	0.669	5.6	1.09	0.000152	0.179	16538	7.085	0.0944	0.565	NE
V01015	10.14	19.63	0.02910	0.00469	0.694	6.4	1.10	0.000151	0.156	20411	7.428	0.0934	0.592	NE
V01016	11.55	19.97	0.03362	0.00493	0.811	5.8	1.18	0.000151	0.172	25208	7.240	0.1120	0.501	NE
V01017	10.15	19.98	0.02253	0.00431	0.660	6.1	1.06	0.000151	0.164	17558	7.469	0.0884	0.507	NE
V01018	9.32	20.08	0.01095	0.00344	0.547	6.3	1.17	0.000151	0.159	12448	7.616	0.0718	0.359	NE
V01019	11.20	20.56	0.02433	0.00442	0.744	6.3	1.26	0.000152	0.159	22963	7.667	0.0970	0.431	NE
V01020	12.42	20.74	0.03010	0.00475	0.855	6.2	1.15	0.000152	0.161	29810	7.650	0.1118	0.404	NE
November 28-30,2000														
V01104	10.66	13.44	0.00174	0.00213	0.492	4.5	0.76	0.000145	0.223	7481	6.625	0.074	0.070	NE
V01105	9.27	13.21	0.00156	0.00208	0.423	4.4	0.90	0.000145	0.225	5473	6.555	0.065	0.085	NE
V01006	6.17	12.74	0.00039	0.00155	0.243	4.6	0.85	0.000145	0.216	1886	6.702	0.036	0.065	NE

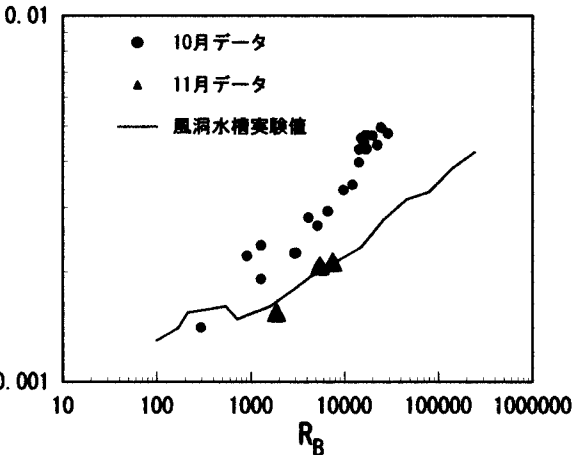


図-3 R_BとC_Dの関係