

東海大学工学部 学 住谷 圭一

東海大学工学部 正 後藤 智明

東海大学工学部 正 飯田 邦彦

1. まえがき

港湾構造物の設計などに用いられる波浪推算あるいは橋梁などの海上構造物の耐風設計、船舶の係留問題などでは、外力となる海上風の影響を強く受けることが知られている。この海上風の乱流特性は、風波の発達や大気と海面の運動量輸送機構に重要な役割を果たしているが、その機構解明はまだ十分にはなされていない。さらに、観測が困難なことから観測データが十分に得られていないため、海上風乱流の基礎特性もまだ十分解明されたとは言えない。

本研究は、大量の海上風の現地観測データを用いて乱流統計量の基礎特性について検討を行ったものである。

2. 気象・海象観測

用いた観測データは、大阪湾内に設置された海上観測局（MT局：図-1 参照）で観測されたもので、1984 年から 1991 年の 8 年の間で得られた顕著な擾乱 30 ケース（測定数で約 1400 回）を用いた。海上風の観測は、10m 高度に設置された 3 成分超音波式風速計で行い、また波浪観測は海底設置形の超音波式波高計（設置水深 17.5m）によって行っている。観測は毎正時にサンプリング周波数 10Hz で 20 分間観測を行い、超音波風速計から平均風速値と風向および乱流統計量を算定し、波高計からはゼロアップクロス法によって定義した有義波諸元を算定した。MT 局の観測は非常に多岐に渡っており、その詳細は後藤・青野（1993）を参照されたい。

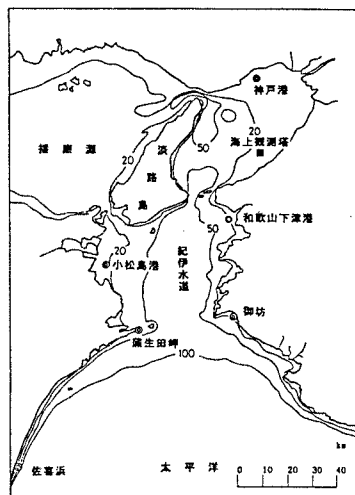


図-1 MT局の位置図

3. 解析結果

海上風の生データには、組織的な乱流構造を有する成分が見られたが、ここでは基礎的な特性を検討する必要から乱れの定義法は最も簡単な平均値からの偏差とした。図-2 から図-4 は、全風向における海上風の

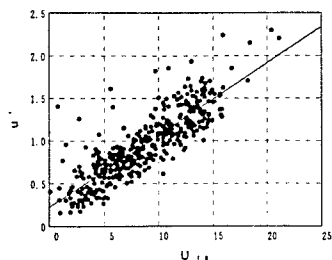


図-2

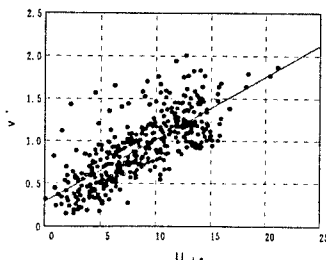


図-3

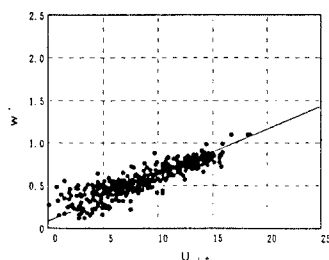


図-4

図-2~4 海上風の乱れ強度 u'_{rms} , v'_{rms} , w'_{rms} と平均風速 U_{10} の関係

乱れ強度 $u'_{rms}, v'_{rms}, w'_{rms}$ と平均風速 U_{10} との関係を示したもので、図中の直線は最小自乗法による回帰直線である。 u'_{rms} と v'_{rms} には、ばらつきがあるものの 3 成分とも平均風速に対して線形的関係にある、ほぼ式 (1) のような関係にある。

$$u'_{rms}=0.1U_{10}, v'_{rms}=0.08U_{10}, w'_{rms}=0.05U_{10} \quad (1)$$

式 (1) の関係は、定常乱流境界層における関係と類似の関係にある。したがって、乱れ強度に関しては 20 分間程度の観測では海上風は定常とみなして良く、流速分布は対数則に従うと考えられる。また、式 (1) の関係は風向に依存せずどの風向でも成立している。

レイノルズ応力 (風の摩擦応力) は、海面の粗度つまり波浪と直接的に関係する量であり特に $-\overline{u'w'}$ の項は海面との運動量の交換に直接寄与することになる。一般にレイノルズ応力は、海上風と式 (2) のように関係づけられる。

$$-\overline{u'w'} = C_D U_{10}^2 \quad (2)$$

ここで、 C_D は海面の抵抗係数である。図-5 は、レイノルズ応力と U_{10}^2 との関係を示したもので、レイノルズ応力は $U_{10}=10\text{m/s}$ 前後を境としてその傾向が異なっているのが認められる。特に、 $U_{10}<10\text{m/s}$ の領域ではレイノルズ応力は非常にばらつく傾向にある。これは、風速値が低く雑音の影響が入りやすくなることと低風速時は U_{10} の変化に依存しなくなることを示唆している。また、この特性の違いが発生する境界の風速は、光易の C_D 則における境界風速 8m/s とほぼ同様であり、 10m/s 前後の風速値が境界となって海上風の抵抗特性が異なるものと考えられる。

次に、レイノルズ応力と波浪の関係について検討する。風波の場合、鳥羽の $3/2$ 乗則によって海上風の摩擦速度と関係している。図-6 は、レイノルズ応力から算定される摩擦速度 u_* と $3/2$ 乗則を用いて有義波波高 $H_{1/3}$ と周期 $T_{1/3}$ から逆算される摩擦速度を比較した結果である。図-5 と同様に低風速時はかなりばらつきがあるものの両者の対応関係は良好であり、乱流データによる直接的な $3/2$ 乗則の成立が確認されたといえる。

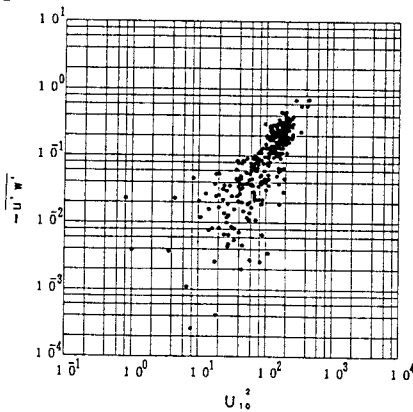


図-5 レイノルズ応力と U_{10}^2 の関係

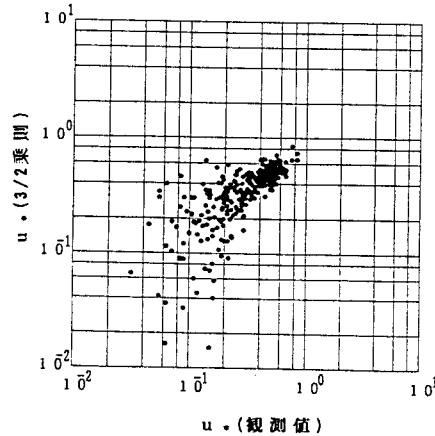


図-6 観測値と $3/2$ 乗則による摩擦速度 u_* の比較

4. 結論

海上風の乱流統計量に関して基礎的な検討を行い、乱れ強度およびレイノルズ応力の特性から乱れが定常乱流境界層と類似であること、海面の抵抗特性等が明らかとなり、乱流計測データを用いた直接的な $3/2$ 乗則の成立の確認が行えた。今後、確率特性等を含んだ海上風のより詳細な乱流特性、大規模渦の特性について検討する予定である。

【参考文献】後藤・青野(1993):港湾技術研究所報告, 第32巻, 第1号, pp.53-99.