

# 高潮災害における副振動の影響

## THE EFFECT OF LONG PERIOD OSCILLATION IN THE STORM SURGE

吉岡 洋<sup>1</sup>・芹沢重厚<sup>2</sup>・高山知司<sup>3</sup>

Hiroshi YOSHIOKA, Shigeatsu SERIZAWA and Tomotsuka TAKAYAMA

1 正会員 理博 京都大学助手 防災研究所海岸海域分野 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

2 京都大学助手 防災研究所白浜海象観測所 (〒649-2201 和歌山県西牟婁郡白浜町)

3 フェロー工博 京都大学教授 防災研究所海岸海域分野 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

The effect of long period oscillation (LPO) is usually neglected for storm surge prediction because it is hidden behind high waves. We observed a big LPO (amplitude was about 0.5m and period was about 5 minute) at Shimohaya Bay in Wakayama Prefecture in a storm. The LPO in storm surge condition would raise the water level of 0.5m, which causes the increase of wave overtopping and wave force on coastal structures. Power spectra of wind and wave group were compared with that of LPO. Periods of around 5 minutes are predominant in sea wind and wave group, and they are same as the resonance period of Shimohaya Bay.

**Key Words :** Storm surge, long period oscillation, seish

### 1. はじめに

高潮の予測をする場合、もっぱら気圧の吸い上げや風の吹き寄せが考慮されてきた。近年砕波帯でのセットアップが取り上げられるようになった。一方、高潮が収まった後のリサージェンスとして湾振動が取り上げられてはいるが、高潮災害を起こす高潮の最中では、副振動の影響は考慮されていない。防波堤の設計指針においても、高潮発生時の副振動は無視されている。港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>1)</sup>では「副振動は、高潮又は津波によって誘発されることも多い。しかし、ここでは副振動を狭義に解釈して、高潮及び津波の時以外に発達する長周期の水面振動と考える。したがって、高潮及び津波の際には特に副振動を考慮しない。」と記されている。

しかし、実際の高潮被害報告においても、副振動の大きな役割が報告されている例がある。台風 9119 号による瀬戸内海西部の高潮について小西<sup>2)</sup>は「浸水写真や証言からは、高潮による高潮位は大雨もなく風もさして強くない中で（高潮が上昇してくる様子が比較的冷静に観察されている。もしくは安堵したあとに水が来ている印象の証言がある。）突然襲ってきた様相をしているように見える。これは直接の風の効果（吹き寄せ）によって最高潮位がもたらさ

れたというよりも、大きな副振動が満潮に重なって生じることで高い潮位が実現されているように思われる。」と報告している。ここでいわれている副振動は、広島湾・伊予灘スケールの湾振動である。

それではそれより小スケール、数百メートルから数キロメートルの港湾もしくは小湾はどうであろうか。そのような小湾では共鳴周期が高々数十秒から数分の非常に局地的な現象である。一般に副振動の多くは高波浪時において平常より大きな振幅で発生している。したがって高潮時には平常以上の強い副振動が発生しているであろう。しかも高潮時なので高波浪と重なっており、異常な水位上昇があっても高波に隠れて気づかれない可能性がある。1999 年の八代海の高潮災害でも、既存の予測方法では説明できない異常に高い浸水高や大きな越波量を推定せざるを得ない状況が局地的に起こった<sup>3)</sup>。その一つの原因として高潮まっただ中の副振動の効果をとり上げてみた。

和歌山県の紀伊水位道に面した田辺湾は、台風の常襲地帯で、しばしば高潮が発生し、また顕著な副振動が報告されている<sup>4)</sup>。そこで、1982 年の田辺湾沿岸における潮位観測の資料および 1998 年の 7 号及び 10 号台風通過時の湾口における風と波の観測資料を基に、荒天時の副振動の特性を調べた。

## 2. 田辺湾周辺の副振動

田辺湾は紀伊水道に面した間口奥行きともに約4 kmの小湾で、湾口部は水深30mの平坦な地形である。湾奥は小島や岩礁に囲まれた入り組んだ地形で、波静かなため養殖が盛んである。その中の一つ、細野浦に気象庁の検潮所がある。田辺湾の北側に接してに接して下芳養湾という湾口奥行きともに2 kmくらいのさらに小さな湾がある。紀伊水道は大阪湾に高潮を起こす台風が通過する海域であり、夏期の田辺湾は台風による高波や高潮がしばしば起こる。そういった立地条件から田辺湾の湾口部南端に日本最初の海洋観測塔が1967年に設置され、白浜海洋観測塔(図-1 TOWER(O))と呼ばれて長期海象観測を実施してきた。しかしあまりに海岸に近くて陸地の影響が大きいので、もっと沖合の湾口中央部に新しく観測塔が1993年に設置され、田辺中島高潮観測塔(図-1 TOWER(N))と命名されて、白浜海洋観測塔の観測を継続発展させている。

1982年夏期に田辺湾周辺の副振動を調べるために多点で潮位観測が実施された。通常観測されている細野浦の検潮所(Hosono)や白浜海洋観測塔(Tower)のほかに、田辺湾奥の新庄(Shinjo)や北端の江川(Egawa)および隣接する下芳養湾の北端の南部(Minabe)の潮位を臨時に観測した。(図-1)

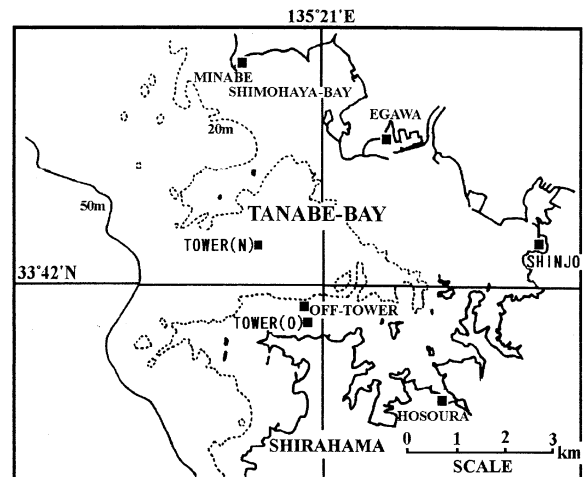


図-1 田辺湾の地形と潮位観測地点

その結果、田辺湾の副振動は平常時と荒天時とでその特徴が大きく異なることがあきらかになった<sup>5)</sup>。平常時では原因は不明ではあるが、40分の静振がしばしば起こり、湾奥で最も振幅が大きく、湾口付近の塔では振幅は小さいが往復流が顕著で、湾口付近の静振の構造を表している。下芳養湾では40分周期振動もみられるが振幅は小さく、それより短周期の振動もみられ、田辺湾と別の振動特性を示している(図-2)。

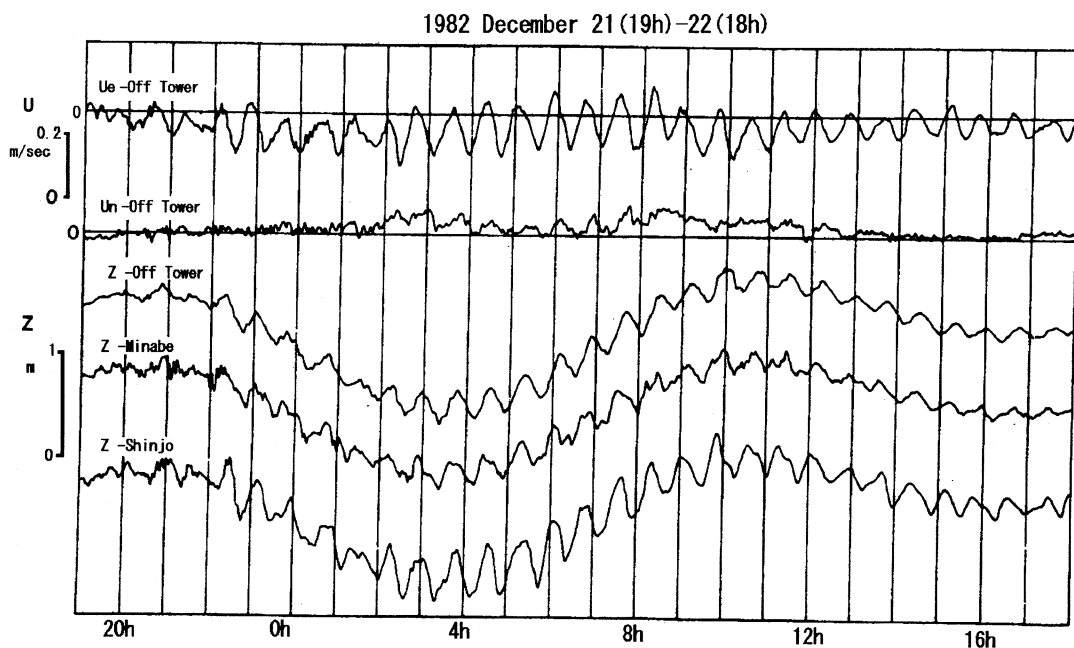


図-2 非荒天時(1982/12/21)に発生した副振動の記録 上から白浜海洋観測塔沖の東西流速(Ue-OffTower)、南北流速(Un-OffTower)、水位(Z-OffTower)、下芳養湾の南部の水位(Z-Minabe) および田辺湾の新庄の水位(Z-Shinjo)

荒天時には数分程度の短周期振動が卓越し、とくに下芳養湾では振幅が他を圧して大きく、1982年9月24日の記録では、最大で1mちかくなっている(図-3)。この異常に大きな副振動はその周期(5分)からみて奥行き2km、水深10mの下芳養湾に補足された振動であり、なぜこの小湾だけが大きな副振動

を起こすのか力学的に興味がある。

しかもこの副振動に荒天時の高波浪が重なっているとしたら、従来の防波堤設計における設定潮位より0.5m近く高い水位で波浪が構造物に当たることが予想され、越波量や(浮力を含めた)転倒モーメント、滑動力に与える効果は重大である。

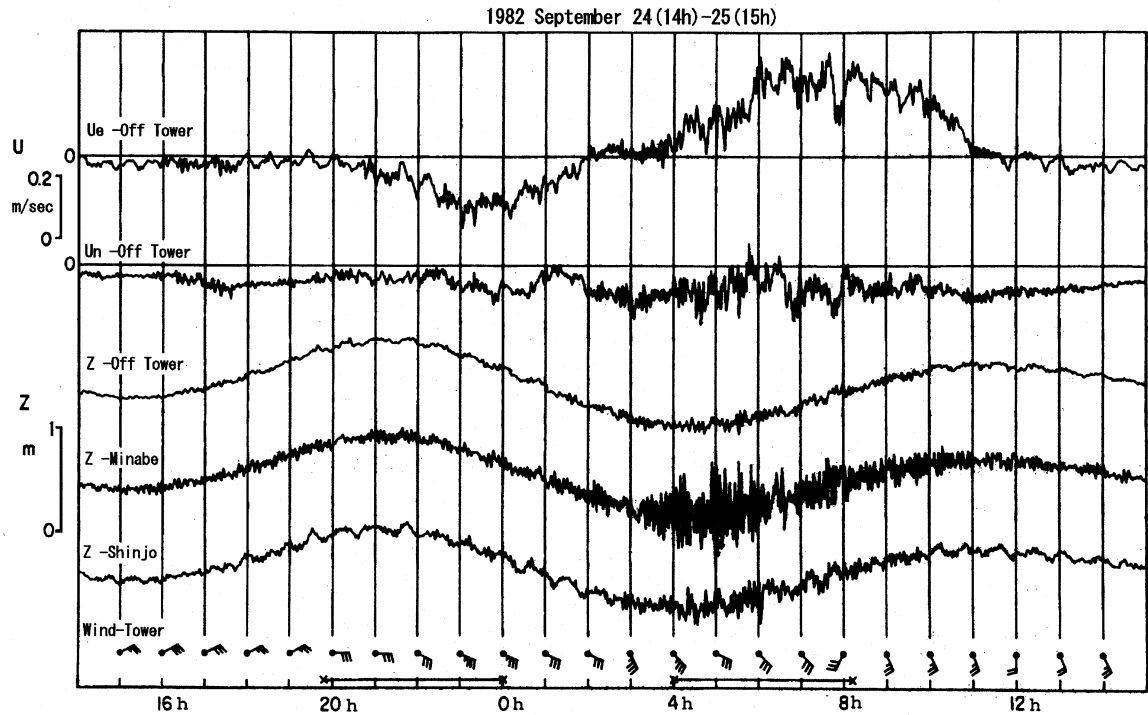


図-3 荒天時(1982/9/24)に発生した副振動の記録 上から、白浜海洋観測塔沖の東西流速(Ue-OffTower)、南北流速(Un-OffTower)、水位(Z-OffTower)、下芳養湾の南部の水位(Z-Minabe)、田辺湾の新庄の水位(Z-Shinjo) および観測塔の風(Wind-Tower)

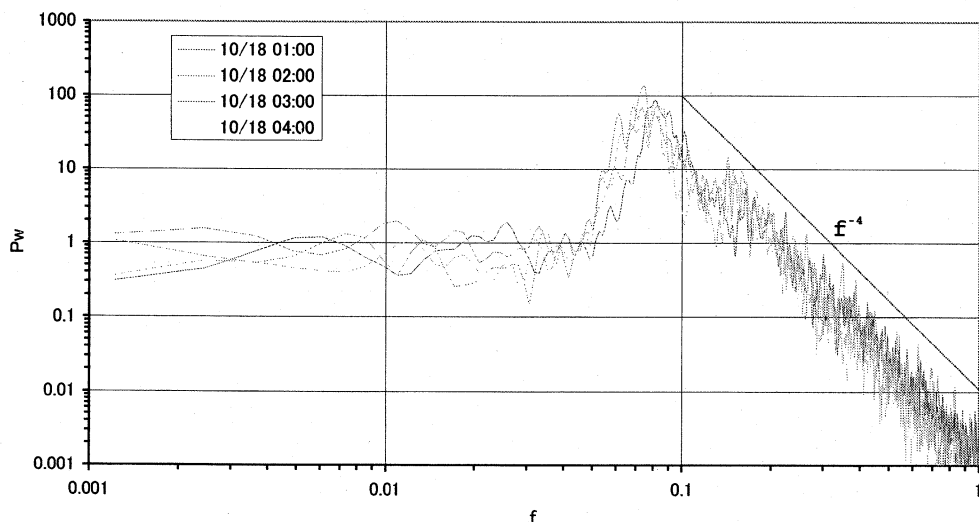


図-4 田辺中島高潮観測塔で観測された波高パワースペクトル

### 3. 田辺湾の海上風および波浪の長周期特性

平常時の 40 分静振の原因は不明であるが、荒天時のより短周期の静振は、当然荒天時の気象海象に起因すると思われる。そこで、特に海上風と波浪に注目してそれらに副振動周期の変動成分が卓越しているのか調べてみた。1998 年の台風 9810 号来襲時に、田辺中島高潮観測塔（図-1:TOWER(N)）で観測された風速と波高の記録を解析した。

最も波高が高かった 1 時から 4 時までの 10 サイクルサンプリング 20 分間の時系列データから波浪スペクトルを求めると、12 秒程度のうねりと 8 秒程度の風波がみられるが、1 分以上の長周期帯のエネルギーは低く、湾口域の水位には、長周期波が卓越していないことがわかる（図-4）。

しかし波高の時系列記録をみると、波の峰と谷の包絡線、もしくは波高の二乗の包絡線で示される波群の変化が、数分周期で変動している。包絡線では周波数特性が定量化しにくいので、図-5 ではその近似として波高の二乗を 10 秒間で平均して  $\pi/2$  倍した値を用いた。1 分以下の短い変化と数分以上の変化がみられ、1 分間平均した物は、後者の変化だけが取り出されている。おしなべて 20 分間に 4 回のピークがみられ、周期 5 分変動が卓越していることが明瞭である。

海上風は北風が卓越していたので、南北成分の（平均風速を差し引いた）変動成分の時系列をみると、やはり 20 分間に 4-5 回のピークがみられ、周期 5 分変動が卓越しており、また風速のピークと波高の二乗の包絡線のピークに対応がみられる（図-6）。

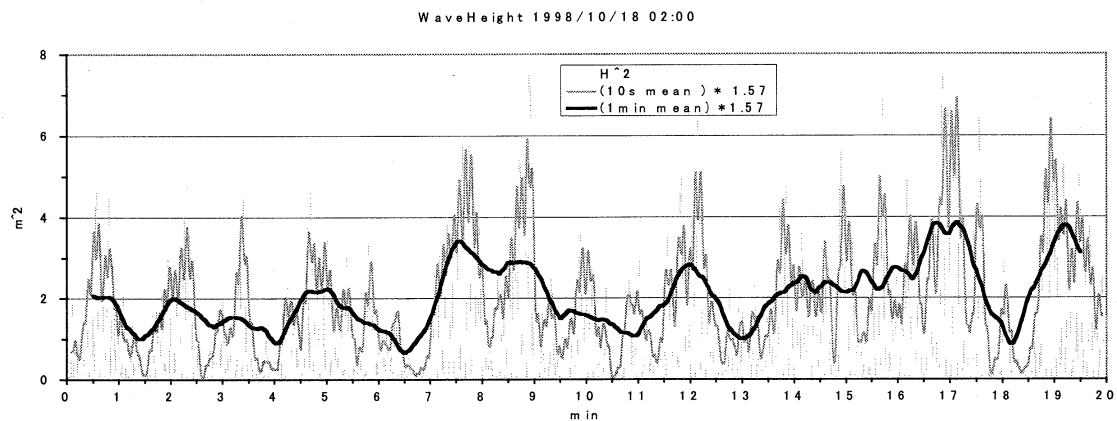


図-5 田辺中島高潮観測塔で観測された波高の二乗の変化の包絡線（1998/9/28）

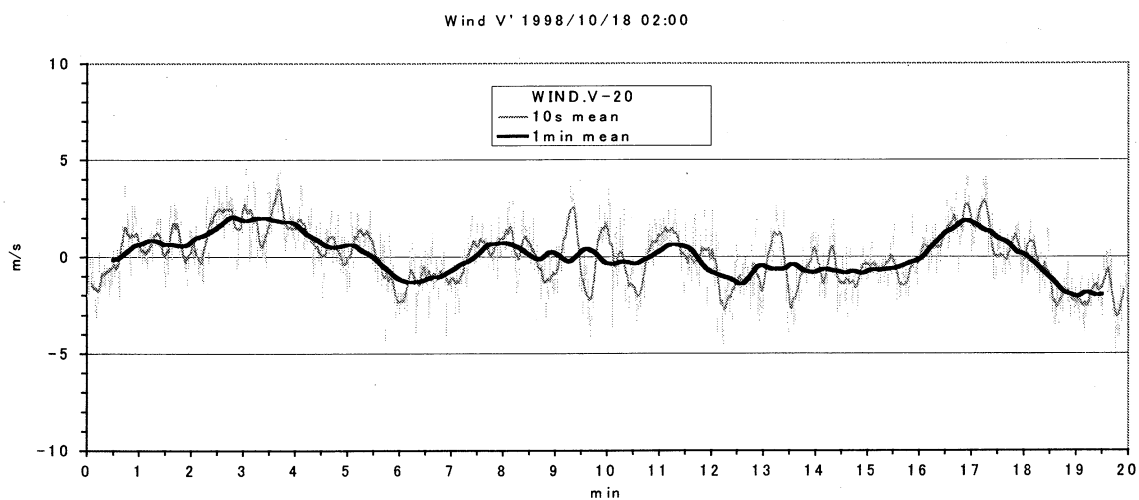


図-6 田辺中島高潮観測塔で観測された風速南北変動成分の変化（1998/9/28）

風速と波群とのコヒーレンスをとるには、以上に示した毎時 20 分間のデータでは短すぎるので、30 秒サンプリングの連続記録のなかから、平均風速および平均波高の記録の相関を調べた。平均風速とは、風車式風速計の出力に 120 秒のローパスフィルターをかけたものであり、平均波高とは超音波波高計の波高出力を整流平滑回路に通した 2 分平均波高である。波高が最も高い 10 月 18 日の 2 時を含む、0 時から 6 時までのデータを取りだし、1 時間以上の長周期トレンドを除いてから (図-7, 図-8), それぞれのパワースペクトル (図-9 上, 中), クロススペクトルを計算し、コヒーレンスや位相差を求めた (図-9 下)。パワースペクトルには、風速、波高のいずれも 3 分から 10 分の間にパワーのピークがあり、それらの相関も高くなっている。

#### 4. 結論

荒天時には風速が数分の周期で風速が変わり (いわゆる風の息というもの), それに対応して波高も変化する (すなわち群波性が強くなる)。それが岸に打ち寄せるので、砕波によるセットアップの強さも変化する。それらの単独の作用は微小なものであるが、もし内湾の共鳴周期と一致すればそこに蓄積されて次第に大きな振動を起こす。下芳養湾で高波浪時に顕著な副振動が発達するのは、海上風や波の群波性に 5 分程度の周期が卓越し、それが同湾の共鳴周期に一致するためである。本研究は、平成 12 年度運輸分野における基礎的研究推進制度による「高潮・高波の推算技術の高度化と防災に関する基礎的研究 (2000-2)」の一環として実施された。

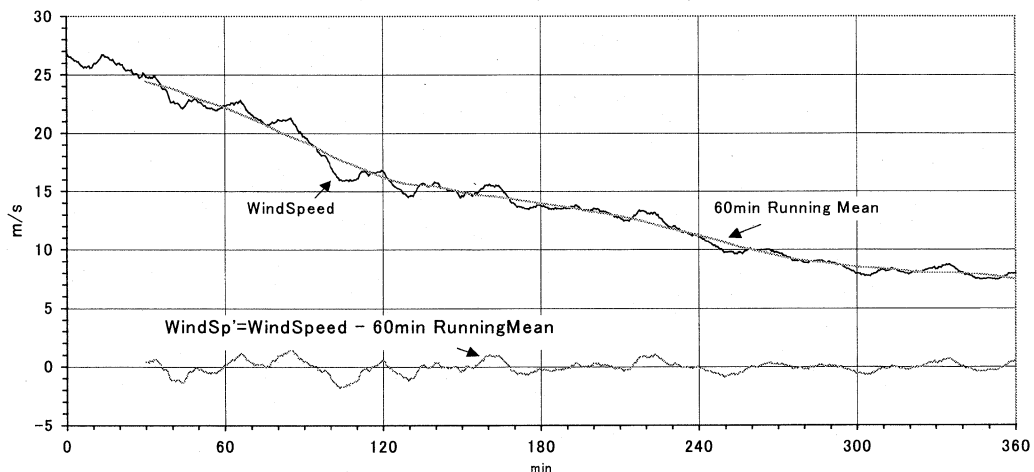


図-7 1 時間以上のトレンドを除去した風速変動 (1998/10/18 0:00-06:00)

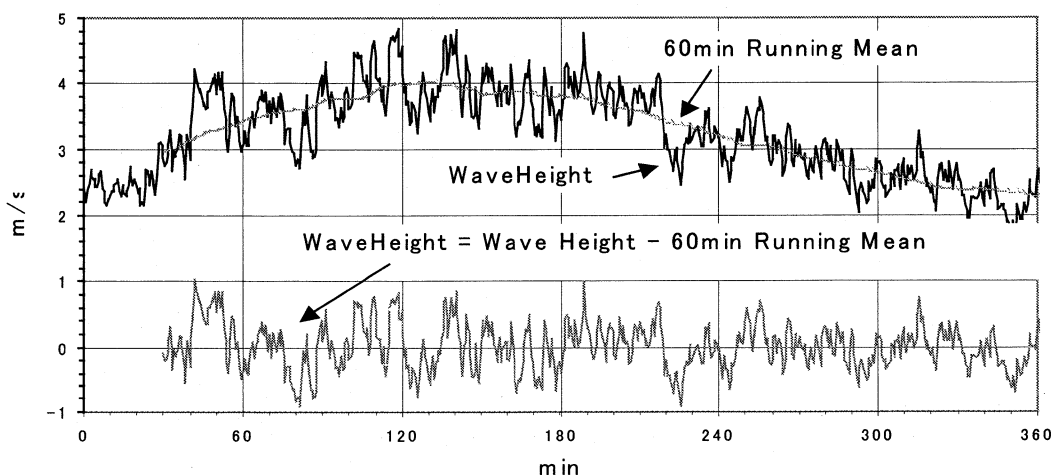


図-8 1 時間以上のトレンドを除去した平均波高変動 (1998/10/18 0:00-06:00)

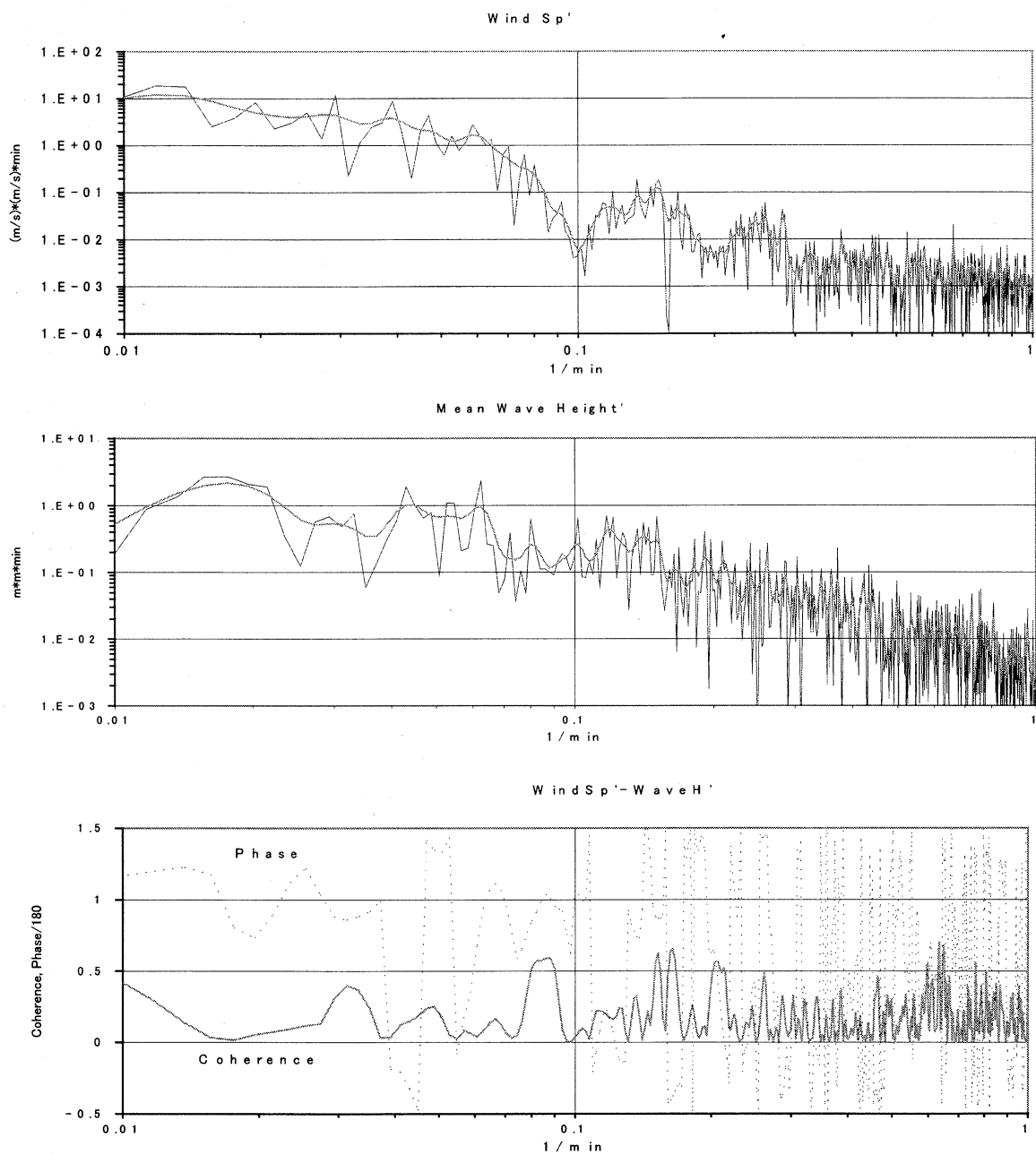


図-9 風速変動と平均波高変動のパワースペクトル(上)(中)とそれらのコヒーレンスとフェイズ(下)

#### 参考文献

- 1) 設計潮位, 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 運輸省港湾局監修, 日本港湾協会
- 2) 小西達男(1995): 台風9119号による瀬戸内海西部の高潮一検潮資料, 浸水資料の解析及び現地調査結果一, 海と空, 70-4, pp.171-188
- 3) 平石哲也・平山克也・河合弘泰(2000): 台風9918号による越波災害に関する一考察, 港湾技研資料, No. 972, 19p.
- 4) 吉岡 洋(1985): 紀伊水道, 日本全国沿岸海洋誌, 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編, 東海大学出版会, pp. 630-641.
- 5) 海象(流れ)観測グループ(1983): 田辺湾における流れの長期連続観測, 京大防災研年報, 26B, pp. 637-672