

現地海岸における水面変動の時空間特性

土屋 義人* ・ 河田 恵昭**・ 芝野 照夫***
山下 隆男****・ 小林 征雄*****

1. 緒 言

現地海岸における海面変動には、風波やうねりのような波浪の他に、surfbeat とよばれるような長周期変動 (30~300 sec) や wind set-up および wave set-up のような準定常的平均海面変動が存在することが知られており、近年これら周波数帯の異なる海面変動成分の工学的位置づけに、関心が寄せられるようになってきた¹⁾。本研究では、長大波浪観測棧橋 (長さ約 315 m) を用いて波浪観測を行い、単一ストームによって生じられるこれらの海面変動成分を時空間的にとらえ、波浪の発生・発達期から減衰期に至る過程において、surfbeat および wind set-up, wave set-up がどのように関連づけられるかを考察するとともに、波浪の基準面としての trough 海面と surfbeat のような長周期の平均海面変動との関係について検討する。

2. 観測方法および条件

波浪観測は京都大学防災研究所附属大渦波浪観測所の長大波浪観測棧橋 (帝国石油 K.K. 所有) において、図-1 に示すような波高計群によって行った。すなわち、棧橋の先端に設置した4台の空中発射式超音波波高計 (計測技研株式会社製) により構成されるラインアレイおよび棧橋に沿って設置された8台の容量式波高計群であり、前者は有義波諸量および方向スペクトルの常時観測に用いられており、後者は波浪観測時に目的に応じて設置、使用されている。なお、空中発射式超音波波高計および容量式波高計については、実験室における静的な検定のみならず波形、有義波諸量および周波数スペクトルに関する現地での検定を観測に先立って行い、両者の対応が良好であることを確認している。

波浪観測の期間は、波高計の検定および波速の観測を対象とした第1観測と海面変動の時空間特性を対象とした第2観測とで、それぞれ図-2に 1st Ob. および 2nd

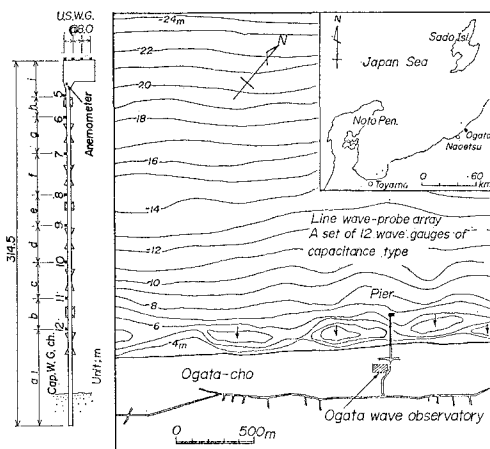


図-1 観測棧橋周辺の海底地形および波高計の設置位置
(a: 79.5, b: 27.3, c: 31.7, d: 31.6, e: 27.0, f: 36.9, g: 31.55, h: 18.15, i: 31.7 m)

Ob. で示した。図-2の風向、風速は棧橋先端に設置されたコーシーンペーン風向風速計の記録である。第2観測で対象としたストームは、1981年3月14日3時 (対馬) から15日3時 (小樽) にかけて台風並に発達した低気圧が日本海を縦断したものである。

観測は、この期間中連続して行われたが、観測データの処理は6時間毎に11分間について行った。それらはデータ通し番号 (DNO) をつけてあり、以下の説明にはこれを用いることとする。

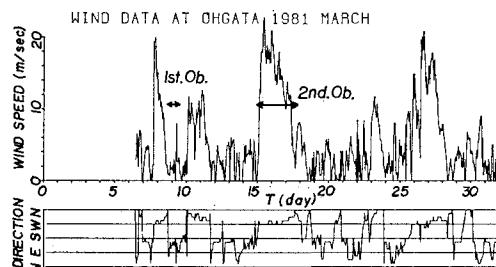


図-2 観測期間および棧橋先端における風の記録

3. 観測データの処理方法

14 チャンネルのデータレコーダで収録されたアナロ

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所
** 正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所
*** 正会員 京都大学助手 防災研究所
**** 正会員 工修 京都大学助手 防災研究所
***** 計測技研 (株)

グ記録を、ミニコン FACOM U-200 によって、サンプリング時間間隔 0.16 sec で 4 チャンネルのシムルティニアスモードの AD 変換をした後、FACOM M-140 により以下のような処理を行った。

- (1) 波別解析; ゼロアップクロス法による。
- (2) 11 min 平均海面; 4096 データの平均海面で、容量式波高計および空中発射式超音波波高計ともに測定可能である。
- (3) 32 sec 移動平均海面; 201 データの移動平均値で、surfbeat に対応する長周期成分を求める。
- (4) Wave envelop; 平滑化を行わず、波別解析法で定義される crest と trough を直線で結び、trough 海面は trough line を 11 点移動平均で定義した。
- (5) 周波数スペクトル; 2048 データを FFT 法で解析した。
- (6) 方向スペクトル; 空中発射式超音波波高計ラインアレイ (8m 等間隔で 4 台) の記録を、2048 データについて Borgman 法²⁾で解析した。
- (7) 成分波の波速: 波高計間隔 8.75 m の 2 台の容量式波高計のクロススペクトルのフェーズ θ から、 $c(\omega) = 8.75\omega/\theta$ で算出される。ここに、 ω は角周波数である。

4. 波浪の特性

ここではまず、第 2 観測期間中に得られた波浪の特性を明らかにするため、波浪の発生期として DNO 27, 最盛期として DNO 30 および減衰期として DNO 35 を代表データとして選出し、それらの波形 (図-4) 方向スペクトル (図-5), 周波数スペクトル (図-6) の一例および超音波波高計による有義波諸量の時間的変化 (図-3) を示した。これらの図から、波浪の特性として以下のことがわかる。

- (1) 風速のピーク出現時刻と、有義波高のそれとで約 13 hr の時間遅れがあり、有義波高と有義波周期とでは約 9 hr の遅れがある。
- (2) 方向スペクトルから推定される波向の主方向は、低気圧の進行に伴って、W → N → NW へと変化し、低気圧がオホーツク海へ去った後には、汀線直角方向 (NW) の波浪が卓越し、エネルギーのピークも低周波側へ移行してその集中度も高くなっていることがわかる。
- (3) この現象は (図-5) の周波数スペクトルの時間的変化にもみられる。また、

倍周波数成分は波浪の発生、発達期の DNO 27, 30 には顕著にみられるが、DNO 35 の減衰期にはこの成分が小さくなり、ピーク周波数より高周波側では f^{-5} に近づいていく様子がわかる。

- (4) 波形に関しては、波浪の発生期 (DNO 27) では、波群の形成がみられ、最盛期 (DNO 30) では trough 海面の変動が少なくなっていることがわかるが、trough 海面の特性については後述する。

5. 平均海面の特性

長大棧橋による波浪観測の利点のひとつに、棧橋にそった波浪データの時空間分布を得ることができる点がある。ここでは、有義波高および 11 min 平均海面の時空間分布および 32 sec 移動平均海面と trough 海面の変動特性について検討する。

図-7 に DNO 27, DNO 32 および DNO 35 について、32 sec 移動平均海面および trough 海面の一例を示した。図中、破線は 32 sec 移動平均海面、実線は trough 海面を示し、縦軸は ± 20 cm までの変動量、横軸は 660 sec までの時間軸である。図-8 および 9 は有義波高および 11 min 平均海面の時空間分布であり、図中点線は波高計の故障のために、データの信頼性が保証されない

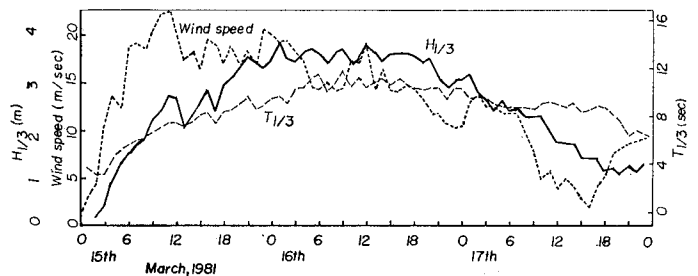


図-3 棧橋先端における風速および有義波諸量

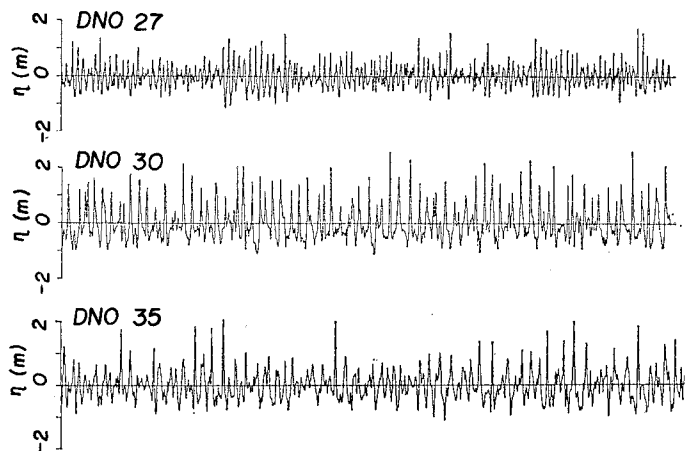


図-4 観測波形の一例

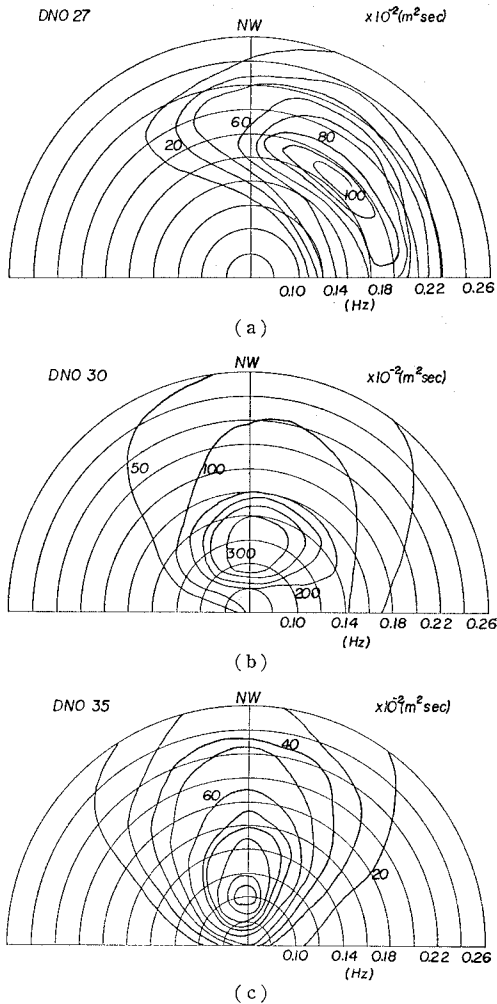


図-5 方向スペクトルの一例

ことを示す。また、図-8の碎波線は目視によるもので、図-9の一点鎖線はDNO 26における平均海面を基準とした時空間座標の基準面を示す。

これらの図から、trough 海面および surfbeat とよばれるような長周期変動を示すと考えられる 32 sec 移動平均海面の変動特性として、次のことがわかる。

(1) 32 sec の移動平均海面は、棧橋全域でほぼ同様の変動特性を示し、変動の顕著な DNO 32 から読み取れる周期は 200 sec 前後である。その振幅は、波高の増大に従って大きくなっているが、必ずしも波高とは比例しておらず、その他のデータも含めて判断すると、波高のピーク出現時刻と 32 sec 移動平均海面の最大振幅のそれとでは、12 hr 近くの

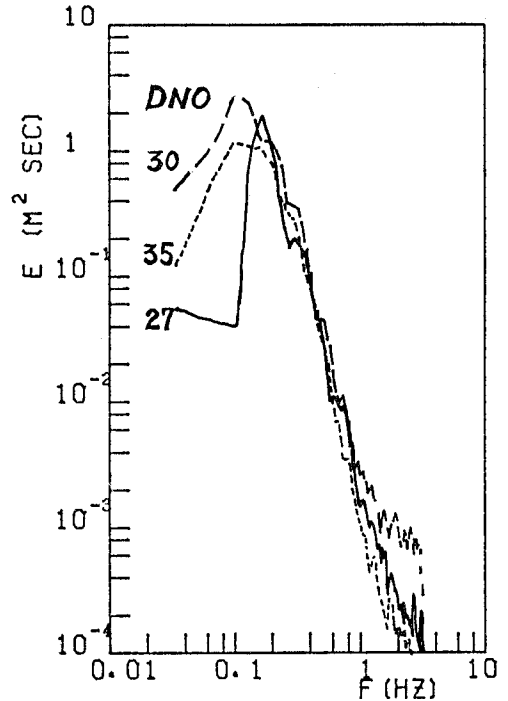


図-6 周波数スペクトルの一例

時間的遅れが認められる。

(2) 一方, trough 海面の変動にも, 100~200 sec の周期性が存在しており, その振幅は波高には依存していない。

(3) 32 sec 移動平均海面および trough 海面ともに, 11 min アンサンブル平均海面からの変動量で定義されているため, 両者の差が小さいほど surfbeat のような長周期変動を除去了した平均海面に対する trough 海面が

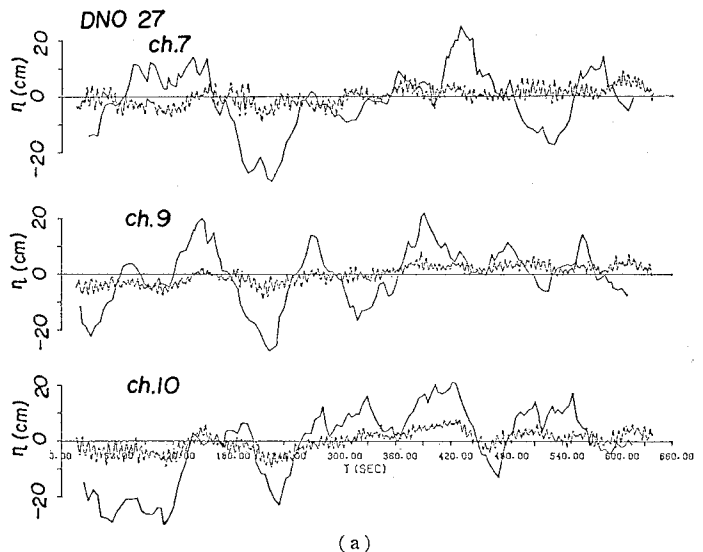


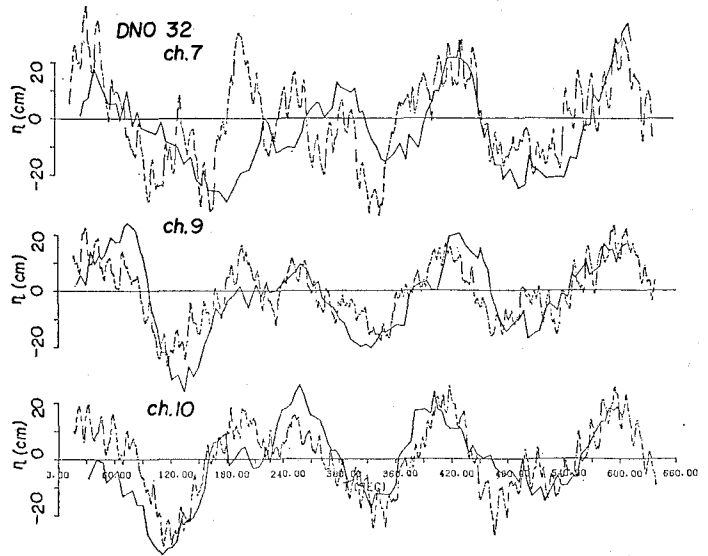
図-7 32 sec 移動平均海面および trough 海面

一定値に近い値になり、たとえば波浪をソリトンに分解して考えるソリトンスペクトルの解析⁹⁾において、基準面をtrough海面に設定できることになる。今回の波浪観測の結果からは、波浪の発達期においては、両海面の差が大きく、ある程度発達した後では、その減衰期も含めて両海面の差が小さくなることが認められた。また、surfbeatのような現象は、浅海域における現地波浪に本質的に内在していることは明らかであるが、この生因は波浪の特性だけでは説明し難く、さらに大スケールの大陸棚にトラップされた高潮現象(edge波)のような海面変動に波浪が付随していると考えた方が自然であると思われる。いずれにしても、それが定常的な変動であるか進行性のものであるかは明らかではなく、今後の観測においては、その方向性を見出すことが必須であろう。

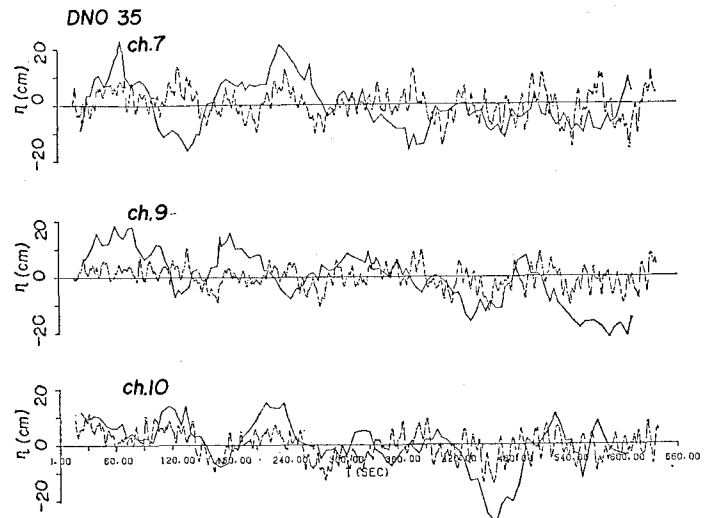
次に、変動のタイムスケールをさらに長くとり、いわゆる wave set-up や wind set-up および潮位を対象とした準定常的な海面変動を検討する。図-9の11 min アンサンブル平均海面には、潮位変化が介入していること、ch. 6, ch. 8, ch. 11 および ch. 12 の波高計が観測中に若干トラブルを生じていることから、やや正確さに欠ける点もあることは否定できないが、この平均海面の時空間変動特性として次のことがいえよう。

(4) 風速は DNO 31 頃から弱まりはじめ、波高は DNO 33 頃から減衰し始めている。一方、棧橋にそう平均海面の分布特性には、DNO 32 を境にして顕著な変化が認められる。これらのことから、DNO 31 以前の平均水位の上昇の要因としては wave set-up のみならず wind set-up が少なからず介入していることが推測され、DNO 32 以後の平均水位の低下は、波浪の減衰に伴う砕波点の移動と砕波形式の変化が考えられる。

(5) 図-9 からわかるように、現地海岸には、タイムスケールの長い準定常的な平均海面変動が存在しており、これに数百秒のオーダーの海面変動が加わり、さらにそれに波浪が付随するような海面変動機構があるものと考えてよからう。また、それらの海面変動の振幅は、本観測の場合、タイムスケールの長い順に、2~3 m, 10~20 cm, 40~50 cm のオーダーである。



(b)



(c)

図-7 32 sec 移動平均海面および trough 海面 (つづき)

以上のことから、少なくとも浅海域における海象を議論する場合には、波浪のみならず数百秒、数十時間のタイムスケールの海面変動を考慮する必要があることが認められる。

6. 結 語

以上、長大棧橋を用いた波浪観測の結果から、ひとつのストームの通過に伴う海面変動の時空間的変動特性を、そのタイムスケールに分けて検討した結果、次のような点が明らかにされた。

(1) 浅海域における海面変動には、波浪の他に surfbeat のような周期 100~300 sec の長周期成分と wind

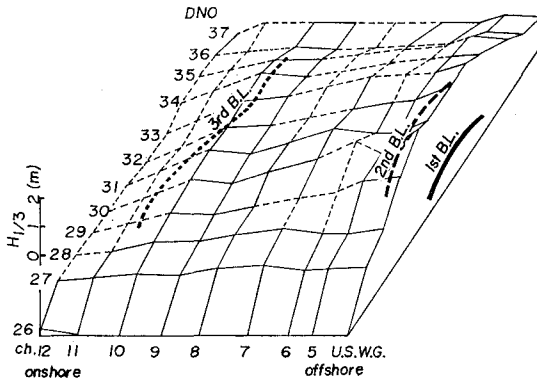


図-8 有義波高の時空間分布

set-up および wave set-up のような準定常的成分が存在する。

(2) Surfbeat の最大振幅の出現時刻と波高のそれとでは十数時間の時間遅れがあり、今回観測された長周期成分は大陸棚にトラップされた edge 波と考察された。

(3) ある程度発達した浅海域の波浪の場合には、trough 海面と長周期海面変動との差は小さくなり、波浪の基準面として trough 海面が定義できる可能性が見出された。

なお、本研究を実施するに当たり、超音波波高計の検定に便宜を図って下さった計測技研株式会社高橋俊武氏、観測に御協力いただいた京都大学防災研究所付属大湊波浪観測所の白井亨助教授、ならびに内山清枝官、容量式

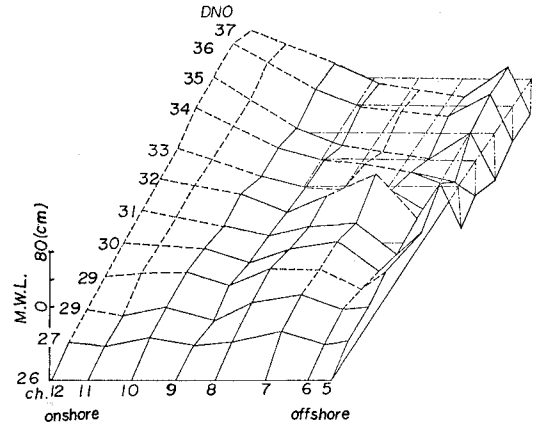


図-9 11 min アンサンブル平均海面の時空間分布

波高計の作製、修理に携わっていただいた同所海岸災害部門藤木繁男技官およびデータ解析に協力していただいた大学院生平口博丸（現在、電力中央研究所）および平本高志両君に深謝する。

参 考 文 献

- 1) Huntley, D. A. and A. J. Bowen: Beach cusps and edge waves. Proc. 16th Conf. Coastal Eng., pp. 1378~1393, 1978.
- 2) Borgman, L. E.: Directional spectra model for design use, Tech. Report, HEL 1-12, pp. 1~29, 1969.
- 3) 土屋義人・安田孝志・武山保徳: 相互干渉を無視した場合のソリトンスpektrum理論, 第28回海講論文集, pp. 89~93, 1981.