

うねりが風波の発達に与える影響の実態解明

2020年3月 海洋資源環境学分野 47-1866099 尾松弘崇

指導教員 小松幸生 准教授

キーワード：波浪、うねりと風波の相互作用、大槌湾

1. 序論

波浪は、比較的短周期（数秒程度）の「風波」と比較的長周期（7秒～数10秒）の「うねり」で構成される。風波はその場に吹く風からのエネルギー入力によって発達過程にある波である。一方、うねりは風波が風域を離れるか、風が止むか、あるいは風向が変化することで元々の方向の風からのエネルギー入力が失われ、その方向に伝播していた風波が減衰し伝播している波である。波浪は、海面に生じる最もエネルギーの大きい現象の一つであり、自然環境に与える影響が大きい。大気と海洋間のエネルギー、運動量、気体等の交換、ストークスドリフトによる海面付近の生物や物質の輸送を規定し、さらには、藻場の生態系維持にも波浪の擾乱が重要な役割を担うことが知られている（川俣, 2001）。

現実の波浪は風波とうねりが混在した状態にあるが、両者の相互作用については不明な点が多く、そのことが急速に変動する風域における波浪予測の精度低下の一因となっている。とりわけ、従来の理論研究と実験研究は結論が食い違っており、その原因は未解決である。Phillips and Banner (1974) と Chen and Belcher (2000) の理論研究では、うねりの上で発生する風波の発達が、風向とうねりの伝播方向が順方向か逆方向かに関係なく、うねりが無い場合に比べて抑制されると指摘されているのに対し、Mitsuyasu and Yoshida (2005) の水槽実験による研究では、うねりの上で発生する風波の発達が順風の場合は抑制され、逆に逆風の場合は促進されると指摘されている。そして、最大の問題は、うねりが風波の発達に及ぼす影響を実海域において定量的に実証した事例が無い点である。

そこで、本研究ではうねりの上で発生する風波の発達過程の実態を現実の海洋において解明することを目的とする。

2. データと手法

通常、現実の海洋では伝播方向や波周期を異にする複数のうねりと風波が共存するため、うねりと風波を分離し、両者の相互作用を系統的に解析することが難しい。しかし、岩手県の大槌湾では、既往研究において約 60° の沖合方向から年中ほとんど伝播方向を変えずに規則的なうねりが伝播していることと、湾内の風によって風波が発達し、うねりと風波が共存していることが分かっている（藤井, 2019）。そこで、本研究では、いわば天然の造波機付き風洞水槽である大槌湾を研究の対象とした。

解析では、大槌湾の水深 40m (39-20.65N, 141-57.62E) の場所に係留・設置された風速計付き GPS 波浪ブイにより、2012年10月～2016年12月に観測された風と波浪のデータ（Komatsu and Tanaka, 2017）を使用した。毎時20分間のブイの鉛直変位と東西・南北移動速度のクロススペクトルから Isobe et al. (1984) の方法で波浪エネルギーの2次元スペクトルを計算し、Portilla et al. (2009) の方法でうねりと風波のスペクトル成分を分離し、波浪全体のエネルギーにおけるうねりと風波の占める割合として、各々の

寄与率を見積もった。また、うねりの伝播方向に対して風向が順風 (20-100°) と逆風 (200-280°) の場合に分けて、うねりの波形勾配が最小の時の風波エネルギーとその他の時の風波エネルギーの比から、うねりが風波の発達に及ぼす影響を見積もった。

3. 結果と考察

逆風時では風速の増大に伴って風波の寄与率が增大したのに対して、順風時では寄与率が逆風時ほど増大せず、風速 8 m s^{-1} 以上では逆風時の風波の寄与率が順風時の風波の寄与率の 2 倍以上になることが分かった (図 1)。風波の発達率は、うねりに対して順風の場合も逆風の場合も概して 1 を下回り、うねりによって風波の発達が抑制されることが分かった (図 2)。つまり、本研究によって、現実の海洋においては、うねりの上で発達する風波の発達が、うねりと風の方向に関係なく抑制される可能性が高いことが初めて明らかとなった。この結果は従来の理論研究と整合的であった。

逆風時の風波の寄与率が順風時に比べて大きい理由として、逆風時では風波の発達率のデータのばらつきが大きく、風波の発達がむしろ促進される可能性があるのに対して、順風時には風波の発達率が 1 を大きく下回り、うねりが風波の発達を抑制する効果が比較的大きいことが考えられた (図 2)。ただし、順風時と逆風時においてうねりが風波の発達に及ぼす効果の違いの要因については、現時点では不明である。既往の理論研究でも提示されている機構が相互に異なっており、この点の解明は今後の課題としたい。

4. 結論

本研究により、うねりが風波の発達に及ぼす影響が、実海域において初めて定量的に実証された。この成果は、未だ謎の多いうねりと風波の相互作用のメカニズム解明、並びに現在開発中の沿岸域の波浪モデルの精度向上に貢献することが期待される。

図 1 大槌湾内における風波の平均寄与率と風速との関係。縦線は標準偏差を示す。

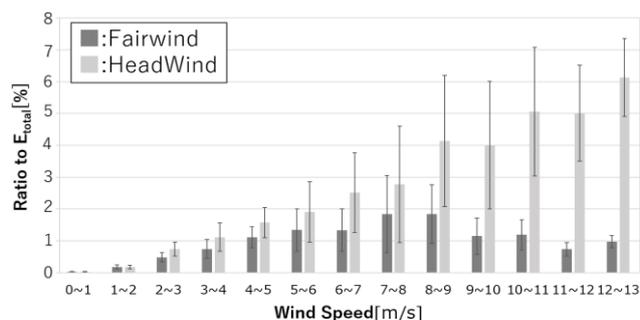
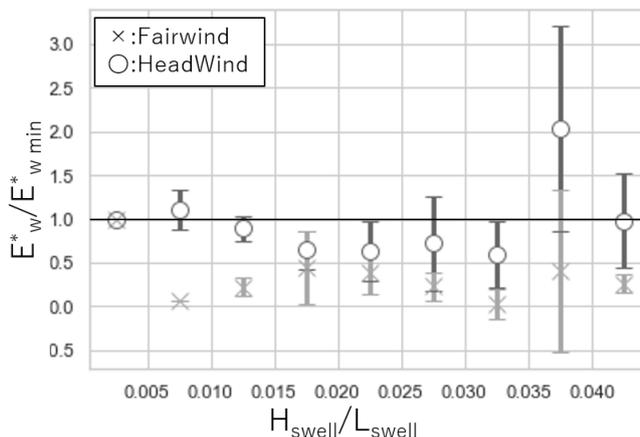


図 2 大槌湾内における風波の平均発達率とうねりの波形勾配との関係。平均発達率は、うねりの波形勾配について 0.005 間隔で平均した値である。縦線は 95% 信頼区間で、縦軸はうねりの波形勾配が最小となる時の無次元風波エネルギー $E_{w \min}^*$ に相対的な無次元風波エネルギー E_w^* を示す。



Effect of swells on the development of wind waves in the real ocean

Mar.2020 Marine Resources and Environment 47-1866099 Hirotaka OMATSU
Supervisor Associate Professor Kosei KOMATSU

Keyword : swell, wind wave, Otsuchi Bay, swell-wind wave interaction

1. Introduction

Wind waves are the surface gravity waves with a typical period of a few seconds, which are generated and developing under the energy input from the local wind. Swells, on the other hand, are also the surface gravity waves with a longer period that are not affected by the local wind but just propagate from distant regions. Both waves are ones of the most energetic phenomena at the sea surface, hence they play important roles on the air-sea exchange of energy, momentum, several gases and so on. Therefore, they have strong influences on the natural environment through the wave-induced mass transport and disturbances, and on various human activities such as fisheries and maritime industries. However, the interaction between wind waves and swells has been unknown until now, although the both waves compose the surface roughness while intermingling in the real oceans. Interestingly, the wave-tank experiments pointed out that swells suppress the development of wind waves in the case of wind blowing in the same direction as the propagation of the swells (Mitsuyasu et al., 1966), and inversely that swells promote the development of wind waves in the case of wind blowing oppositely to the swell propagation (Mitsuyasu and Yoshida, 2005). In contrast, theoretical studies of Phillips and Banner (1974) and Chen and Belcher (2000) presented that swells suppress the development of wind waves, regardless of whether wind blows in the same direction as the swells or not. This inconsistency between the experimental and theoretical studies has not still been solved, as a result, it leads to decrease in accuracy of the operational wave forecast especially in the case of abrupt change of wind fields caused by the passage of developed low pressures. More importantly, it should be emphasized that these effects of swells on the development of wind waves have not been verified in the real oceans.

This study aims to elucidate the development processes of wind waves under coexistence with swells in the real ocean. For this purpose, I analyzed in situ data of wind and waves obtained simultaneously and continuously by a monitoring buoy moored in Otsuchi Bay on the Sanriku ria coast (Komatsu and Tanaka, 2017). Otsuchi Bay presents similar situations as the experimental conditions set up for a wind-wave tank with a plunger, because wind waves generated by local wind inside the bay are coexistent with near-monochromatic swells originated from the offshore regions.

2. Data and Methods

This study analyzed wind and surface wave data obtained from October, 2012 through December 2016 by a monitoring buoy moored on the bottom (40 m depth) at a position of 39°20.65'N, 141°57.62'E in Otsuchi Bay. The buoy was composed of an ultrasonic anemometer with 2-axis wind sensor (Model 32500, R. M. Young Company) installed at a height of 1.5 m from the sea surface and a single-mode GPS wave sensor (Zeni Lite Buoy Co., Ltd) attached to the top face of the buoy. Wind velocity was measured hourly for 10 min just before the hour,

at 0.5 s intervals, and the 10 min-averages were analyzed in this study. 2D energy spectrum of surface waves was calculated from continuous records of the three-dimensional displacement of the buoy sampled hourly over 20 min with 0.4 s intervals by the GPS sensor, by using the scheme presented by Isobe et al. (1984). The energy components of swells and wind waves were identified by applying the algorithm of Portilla et al (2009) to the 2D wave spectra and the mean wind velocity data.

3. Results and Discussion

Contribution rate of wind waves was estimated from the energy ratio of the wind wave component to the total wave component. It was at most 2% for the fair wind case, on the other hand, it amounted to 6% for the opposite maximum wind case (Fig.1). These results are consistent with the conclusions of wave-tank experiments (Mitsuyasu, 1966; Mitsuyasu and Yoshida, 2005). However, the contribution rate for the fair wind case might be underestimated due to absorption of the spectral component of the wind waves by that of the swells.

Development rate of wind waves was defined as the dimensionless energy of wind waves relative to that in the case of the swell presenting the minimum wave steepness. Interestingly, the development of the wind waves was suppressed in both the fair and opposite wind cases, although samples of the wind-waves development were scattered more widely in the opposite wind case.

4. Conclusion

This study is the first to verify quantitatively the effects of swells on the development of wind waves in the real ocean, although the detailed processes of the interaction between them have been still unknown. Analyses on the fetch-limited development of wind waves are required to approach the interaction processes in the future studies.

Fig.1 Relation between the average contribution ratio of wind waves to the total wave energy and wind speed in Otsuchi Bay. Vertical bars indicate standard deviations.

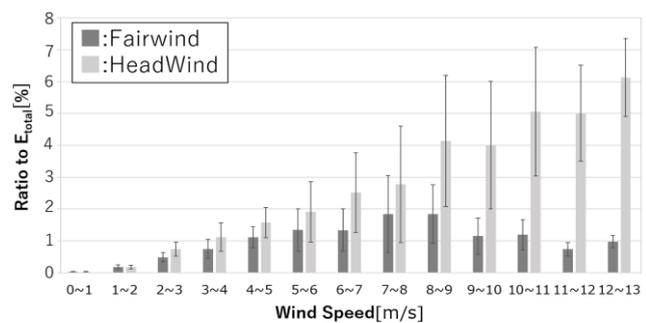


Fig.2 Relation between the development rate of wind waves and the swell wave-steepness. The development rate was averaged at 0.005 intervals and vertical lines indicate 95% confidence intervals. Development rate below (over) 1.0, denoted by a horizontal thick dashed line, indicates the suppress (promotion) effect of swells on the development of wind waves.

