

# 論文審査の結果の要旨

氏名 宝谷 英貴

本論文は 5 章からなる。第 1 章が「序論」、第 2 章で「HOSM 造波法の構築」について、第 3 章で「HOSM 造波法の検証」について、第 4 章「フリーク波の局所的な幾何学、運動学に関する考察」について述べられており、第 5 章で「結論」を述べている。

第 1 章では、関連する研究のレビューを行い、目的を以下の 2 つに設定した：

- (1) 方向スペクトル及び波の準共鳴相互作用を考慮したフリーク波の造波法を開発し、その妥当性を評価すること。
- (2) 準共鳴相互作用がフリーク波の局所的な幾何学的／運動学的特徴に及ぼす影響を明らかにすること。その基礎段階として、開発した造波法を用い、準共鳴相互作用が BF 不安定波の幾何学的／運動学的特徴に及ぼす影響を明らかにすること。

第 2 章では、HOSM(higher-order spectral method)の数値計算で検出したフリーク波をそのまま実験水槽で再現する、HOSM 造波法について述べた。HOSM は Zakharov が導出した自由表面境界条件をスペクトル法により高速計算する手法の一つであり、多方向不規則波の非線形時間発達を効率的に計算できる。従って、確率的に稀であるフリーク波をモンテカルロシミュレーションで探し出す上で有効である。また、本造波法では、時間発達する造波信号を作成するため、水槽に再現される波浪場も時間発達する。時間周期的な運動を造波機に与え、発生した波が空間的に発達するという、従来の造波法と大きく異なる点である。また、HOSM 計算で得られた水位データから直接造波信号を作ると、意図しない自由波が発生することを確認した。意図しない自由波の発生を抑える方法として、計算結果から自由波成分のみを抽出し、波数空間で造波効率を適用し、Schaffer の 2 次の造波機制御法を適用することを提案した。

第 3 章では、HOSM 造波の検証について述べた。検証は、海上技術安全研究所の実海域再現水槽 (80m×40m×4.5m) と動揺水槽 (50m×8m×4.5m) で実施した造波実験、NWT2D (境界要素法を用いた fully nonlinear な数値造波水槽) を用いた数値実験による。実海域再現水槽は、全周に多分割の吸収式造波機を備えた水槽であり、造波に際して波向きに制限が無い。まず、実海域再現水槽の実験では、波下側の造波機を吸収制御させることで、HOSM 計算の空間周期境界を水槽に再現できることを確認した。次に、BF (Benjamin-Feir) 不安定波及び一方向／多方向不規則波中のフリーク波の造波実験を実施し、計測された水位時系列と HOSM 計算結果が、良く一致することを確認した。第三世代波浪モデルで推算した方向スペクトルを初期条件とする HOSM 計算からフリーク波を検出し、それを、全周造波機を備えた実海域再現水槽に再現することに成功したことは重要な成果と考える。HOSM 計算の非線形オーダーが大きいくほど再現精度が良くなること、第 2 章で提案した意図しない自由波の発生を抑える 3 つの方法がいずれも効果的であること、初期波形勾配やスペクトルの周波数幅・方向幅が大きくなるほど再現精度が悪くなることを明らかにした。多方向不規則波については、経験的な造波効率

修正による改善がみられた。

第4章では、フリーク波の局所的な幾何学、運動学に関する考察を述べた。まず、従来の造波法と HOSM 造波法により、BF 不安定波が空間発達する場合と時間発達する場合の比較を行った。集中点付近における幾何学や運動学の時間発達の様子にはほぼ差が見られない。次に初期波形勾配（波の総エネルギー）に対する BF 不安定波の幾何学、運動学の特徴を整理した。1 波群中の波の数は一定としたため、これは準共鳴相互作用（及び波の非線形性）の影響を見ることに相当している。初期波形勾配が大きくなるほど、集中点付近の波頂高さ、波前面の勾配、上下非対称性、波頂における水平粒子速度が大きくなり、波長や波頂速度は小さくなり、また初期波形勾配によらず前後対称な形状が見られることを確認した。これらの幾何学的／運動学的特徴を解釈するため、HOSM 計算や Zakharov 方程式（理論）による考察を行い、準共鳴相互作用によりスペクトルが高波数側に広がることと、自由波及び束縛波の各成分の位相が一致することが重要であることを示した。これまで、準共鳴相互作用がフリーク波に及ぼす影響は、発生確率という統計的な側面から明らかにされてきたが、フリーク波の幾何学や運動学への影響を明らかにしたことは重要な成果と考える。

波の方向スペクトルと準共鳴相互作用を考慮した HOSM 造波法を開発し、水槽実験や数値実験によりその妥当性を評価したこと、HOSM 造波を用いて準共鳴相互作用がフリーク波の幾何学的／運動学的特徴に及ぼす影響を明らかにしたことで、本研究の目的は達成されたと判断する。

なお、本論文第2章及び第3章の一部は、早稲田卓爾、清松啓司、藤本航、茂住研人、谷澤克治との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上により、博士（環境学）の学位を授与できると認める。

以上 1,993 字