

海域構造物の設計における長周期波の反映 —特別セッション“長周期波”のまとめ—

ON THE REFLECTION OF LONG-PERIOD WAVES ON THE DESIGN OF
MARITIME STRUCTURES

—OVERVIEW OF SPECIAL SESSION “LONG-PERIOD WAVES” —

関本恒浩¹・大塚夏彦²・森屋陽一¹

Tsunehiro SEKIMOTO, Natsuhiko OTSUKA, Yoichi MORIYA

¹正会員 博(工) 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

²正会員 博(工) 北日本港湾コンサルタント株式会社 (〒003-0029 札幌市白石区平和通2丁目北11-18)

Long-period wave problem is selected as the theme of the special session on the design and the construction of maritime structures. Firstly, the basic properties of the long-period waves, such as the generation and propagation of long-period waves, the engineering problems on those and the countermeasures against the long-period wave problem, and its reflection on the design maritime structure at present are lectured. The panel discussion for the reflection of long-period waves on the design of maritime structures was opened. The practical problems in the design stage and the direction of the future research on the long-period waves were discussed.

Key Words : long-period waves, design, maritime structure, generation and propagation, sediment transport, long-period oscillation, slow drift motion of moored vessels

1. はじめに

本年の特別セッションのうち設計および施工に関するセッションのテーマとして「長周期波」を対象とした。長周期波は、数十秒から数時間を有する周期帯の波動の一般名称であるが、ここでは周期数分程度の長周期波を対象としている。

この周期帯の長周期波の問題は、港内副振動、係留船舶の動揺、海浜変形、護岸や防波堤の安定性など海岸工学上のさまざまな問題と関連することが知られている。このため、長周期波に関しては、近年基礎的な分野のみならず、応用的な分野についても盛んに研究が進められている。ただし、これまでの長周期波に対する研究は、発生・伝播理論の構築および検証が中心であった。その理由としては、まず長周期波の発生形態が多岐に及び、しかも伝播特性が周辺地形や海底地形に強く依存するため、非常に複雑となっていることが考えられる。また、長周期波は2次オーダーの現象であり、しかも波長も数kmオーダーに及ぶため観測によって現象を正確に捉えることに大きな困難を有していることもその一因といえよう。一方、実務への活用に向けた応用研究は、港内の係留船舶の問題などでは積極的に進め

られているものの、それ以外の分野については大きな進展が見られないのが現状と言える。すなわち、長周期波の重要性は認めつつも、設計などの実務への反映が、現在十分に進んでいないとの印象が強い。本セッションでは、まず長周期波の発生と伝播特性、観測、工学上の問題（漂砂、港内静穏度、船体動揺）、対策方法、計画・設計への適用という構成として依頼投稿論文および一般投稿論文についてご講演いただき、長周期波に関する研究の現状や長周期波の設計への反映状況をわかりやすく概観した。また、パネルディスカッションを実施して実務において現状で抱えている問題や今後の実務への活用に向けた課題や研究の方向性について議論した。

2. 話題提供

(1) 長周期波の発生と伝播特性

長周期波の発生および伝播特性については青木¹⁾によって報告が行われた。以下にこれらの概要を示す。

青木¹⁾は赤羽根（愛知県渥美半島太平洋岸）および阿連（長崎県対馬西海岸）や既往の研究で用いられた現地観測結果をもとに長周期波の増幅と伝播に

関する諸特性について考察している。まず、基本波の波群に起因した波群性長周期波に着目し議論している。長周期拘束波に対する理論から、長周期波の増幅が有義波高と有義波周期の積に関係していることを示し、長周期波に関する既往の現地観測データが有義波高と有義波周期の積によって整理することによってよくまとまる理由を示している。長周期波のrms値に関する種々の現地観測結果を再整理することによってこのことを検証している。さらに、赤羽根における流速データを自由波と拘束波に分離し、自由波は有義波高と有義波周期の積に比例し、拘束波はその2乗に比例することを明らかにしており、既往の研究成果を裏付ける結果を得ている。一方、気象要因によって発生する気象性長周期波は、現状では発生要因を特定するまでには研究が進められていないとしている。長周期波の伝播方向の議論は難しく、今後の課題であることが指摘された。

(2) 長周期波の観測

長周期波の観測についての永井²⁾による報告の概要を以下に示す。

全国港湾海洋波浪情報網 (NOWPHAS) による従来の2時間毎に20分間のサンプリングする方式から、切れ目のない連続的なものとするようにシステム改良が行われたとの報告がなされた。具体的な方法としては、まず風波・うねりを対象とした従来の20分間の0.5秒間隔の波浪データファイルとともに、周期30秒以上の長周期成分を通過させるデジタルフィルターを通した5秒間隔の長周期波データファイルに分けて、データ管理量の増大を避ける工夫をした。また、周期帯をいくつかの区分(風波は、4s, 8s, 10s, 15s, 30sの5区分、長周期波は30s, 60s, 300s, 600sの4区分)に分割し、周期帯毎のスペクトルのパワーに対応する換算成分波高を用いて観測波浪情報の表示を行うように変更されている。さらに、台風によるうねりの観測例や津波の観測例などを通じて新しい観測方法の妥当性が示された。

(3) 長周期波に関する工学上の問題

a) 漂砂

長周期波に関する工学上の問題としての漂砂・海浜変形については、佐藤³⁾により報告された。

佐藤³⁾は、室内実験、現地観測および数値解析を用いて漂砂・海浜変形に及ぼす長周期波の影響について調べた。自然海浜における長周期波の特性として包絡波と長周期流速変動の位相関係を調べ、高波浪時に二次干渉理論による拘束波としての特性が顕著であることを示し、線形長波理論による数値モデルを用いて現象の再現を行っている。また、包絡波と浮遊砂の関係を調べ浮遊砂の発生に長周期波が寄与するとともに、浮遊砂の沖向きへの輸送に拘束波が重要な役割を果たしていることを明らかにしている。さらに、数値解析による長周期波作用下における浮遊砂濃度の再現計算を行い、数値モデルで定量

的な評価が可能であることも示している。また、汀線付近では長周期波が漂砂・海浜変形に対して支配的であることを明らかにしている。そして長周期波を正確に把握することの重要性も強調された。

b) 副振動

副振動については防災の立場から吉岡⁴⁾によって話題提供された。

吉岡⁴⁾は、高潮発生時の港内副振動の特性を和歌山県田辺湾周辺における観測資料をもとに調べている。風速変動および水位変動を詳細に調べたところ、風速値から平均風速を差し引いた後の変動成分には周期約5分の変動が見られ、波高の2乗の包絡線時系列にもやはり5分程度の変動が卓越していることが確認された。このとき、田辺湾口に隣接する固有周期が5分程度の下芳養湾では、激しい副振動が生じていた。発生原因の詳細は不明であるが、波群との共鳴あるいは波群によって励起された長周期波の共振などのかかわりが深いとしている。これらの結果より、高潮が発生する荒天時に局所的な副振動が発生する可能性があり、異常に高い浸水高や越波量を生じさせる可能性があることを示唆している。

c) 船体動揺

長周期波の影響による船体動揺については、白石⁵⁾によって数値シミュレーションによる考察が報告されている。

船体の長周期動揺の評価に際しては、数値シミュレーションが有効であるが、長周期動揺の精度よい予測のためには係留系の変位復元力特性と減衰定数を正しく見積もるべきであることを船体動揺に関する過去の観測値とシミュレーション結果との比較を通じて指摘している。また、船舶の粘性減衰力に関する強制動揺実験および自由動揺実験結果より、長周期動揺成分に対する減衰は主として係留系に起因する減衰力と非線形流体力であることを明らかにしている。ただし、実船による観測データが少ないことから、今後も減衰係数に関するデータの蓄積が必要であることを指摘するとともに稼働率は船体の動揺量を用いて評価すべきであることを指摘している。

(4) 対策方法

長周期波に対する対策については、平石・平山⁶⁾および中村・飯干⁷⁾によって報告がなされた。最初に、平石・平山⁶⁾による報告概要を以下に示す。

まず、防波堤や波除堤の新設によって長周期波を制御できることを示し、適切に構造物を配置することによって荷役稼働率を向上させることが可能であることを明らかにしている。ただし、波除堤の場合建設によって逆に港内静穏度を悪化させる場合があることも併せて示し、対策に際する注意を呼びかけている。制御性能の評価においては数値解析が有効であるとしており、これを用いて稼働率の評価およ

び構造物の便益の評価が可能であることについても言及している。新しい長周期波制御の可能性として港内の人工海浜や消波護岸によって長周期波の反射率を低減できることを示唆し、数値解析による消波護岸の効果を定量的に示した。そして、長周期波対策の最適形状は、長周期波の条件によって大きく変化することに注意を促している。

次に中村・飯干⁷⁾の報告概要をまとめる。中村・飯干⁷⁾は港口に共振装置と呼ばれる構造物を配置することによって、港内の長周期波の制御を行うことを目指している。ここでは、港口にかぎ型の構造物を配置する矩形型共振装置、港口に離岸堤のように構造物を配置する平行堤型共振装置を対象としてその効果を数値的に比較している。その結果、共振装置の設計を適切に行うことにより、長周期波に対して有効な対策を取れる可能性があることを指摘している。

(5) 計画・設計への適用

長周期波の設計への反映については、関本⁸⁾によって報告がなされた。関本⁸⁾はまず既往の文献に見られる被災事例として「越波」、「防波堤の安定」、「水位上昇」および「船体動揺」を抽出し、それぞれの被災状況等について分析を行っている。ついで、入射長周期波、越波、堤体の安定性、港内副振動、船体動揺、海浜変形を対象として長周期波に関する研究の現状と設計への取り組みの現状について考察しており、被災の主要因に対する長周期波の寄与度が高いほど設計への反映が進んでいることを明らかにしている。

3. パネルディスカッション

パネルディスカッションでは、佐藤慎司東京大学大学院教授、青木伸一豊橋技術科学大学助教授、永井紀彦(独)港湾空港技術研究所室長、平石哲也(独)港湾空港技術研究所室長、白石 悟(独)港湾空港技術研究所の5名の方々をパネラーに向かえ、著者の一人である関本が司会を務めた。

まず、発表内容に対する質問も含め、会場からの質問に対して応答した。以下に概要を列挙する。

Q1: 沖縄の漁港では長周期波を設計に取り入れている。長周期波として具体的な数値(0.15H_{1/3})が与えられているが妥当といえるのか。

A1: リーフ上では碎波などによりサーフビートが卓越する場合があります。これを波力として考えることは妥当である。周期が30sか300sかで施設への影響が異なるので、設計の際には注意が必要と考えられる。地域性や季節などによる特徴が変わる可能性もあり、観測データを蓄積することが必要と考える。

Q2: 設計への適用には被災事例を調べることも重要ではないか。

A2: 荷役障害については港ごとに個々に調べてきたが、現在全国的に資料を集め始めたところである。被災事例を調べる際にはフォールトツリーを整理する必要があり、フォールトツリーの中に長周期波を考慮する必要がある。

Q3: 波群性や気象性の長周期波の存在が指摘されているが、気象に起因するものが港内水面変動に大きな影響を与えていると考える。能登半島の飯田漁港では港口で渦を巻いているのを目撃した。

A3: 波群性や気象性を分け発生のメカニズムを抑えることが重要である。波群性や気象性ということ議論するうえでは、港のスケールなども考慮して判断する必要がある。

Q4: 長周期波対策を立てる際に副振動なのか外から入ってきたものなのかを十分に見極めていない場合があるのでは。

A4: それに対しては今後の気をつけるべきである。また、苫小牧港では船体動揺による障害として「うねり」と「長周期波」があり、被災形態に応じた取り組みが必要となる。

Q5: 海浜変形を考える際に長周期波観測で留意すべきことは。

A5: 構造物に対する設計波とは別に、海浜変形にとっての設計波というのものが、長周期波としては孤立波のように来襲するものも捉える必要がある。これまでの、観測では1つの波向きを対象としてきたが、周期帯毎に波向きを評価することも必要となる。全国で統一的にデータが公開されることも必要である。また、生データのアーカイブなどは今後の課題である。

Q6: 越波において長周期波を考慮すべきか。

A6: 長周期波は防波堤に対して、運動量としての寄与は少ない。既存の設計図表では不規則波実験結果に基づいているため、ある程度長周期波の影響が考慮されている。今後は、短周期波と長周期波の複合する確率を考慮する必要があると考える。

最後に、パネラーの方々に長周期波に対して設計への反映などについて意見を求めた。その概要を以下に示す。

白石: 船体動揺に対してインプットとなる長周期波の特性がまだ十分にはわかっていない。

平石: 越波に関して、現在は平均量での議論となっている。利用面に配慮しつつ、長周期波のみならず短時間特性も含めて計算モデルによる評価を目指したい。

永井: 長周期波を対象とした場合、波浪観測については現状の観測網では少なく、アレイ観測なども必

要とであると考える。モデル地点を考えて必要な観測を進めるなどの対応が必要であり、孤立波的な長周期波を捕らえるためにはさらに工夫が必要である。

青木：長周期波にはこれまでの理論で説明できない現象が含まれている。応答の結果として現れる現象に、どのように長周期波が関わっているのかを調べる必要がある。長周期波の発生などの解明のためには、データの蓄積が必要である。

佐藤：孤立波的というのは、水位は小さいがある流速が長く継続するような現象で、海浜変形には重要である。また、長周期波に対する地形の応答をもっと精密に評価することがキーポイントとなると考えられる。

4. 終わりに

パネルディスカッションでは、長周期波に対する幅広い質疑があり、色々な角度からの応答があった。パネラーの方々の共通意見としては、長周期波に関する観測データの蓄積と、生データ等観測情報の適切な利用・活用体制を構築することが必要であるということであり、今後解決すべき課題が多いことも共通認識であると考えられる。

近年、長周期波について現象解明などの進展が見られているのは、多くの研究者や実務者が色々な角度から長周期波に興味を持ってきたことが大きいものと考えられる。今後、長周期波を設計など実務へ反映させるためには、やはり多くの実務者や研究者が長周期波に関心を持ち、色々な角度から取り組むことが必要と考える。本セッションは、その意味では今後の展開に対する大きな一助となるものと考え

る。

最後に、パネラーをはじめとして本セッションに参加されたすべての方々にご心より感謝するとともに、特別セッションの企画に携わった海洋開発委員会シンポジウム小委員会の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) 青木伸一：沿岸長周期波の発生と伝播特性に関する研究，海洋開発論文集，Vol.18，pp.155-160，2002.
- 2) 永井紀彦・額田恭史・岩崎峯夫・久高将信：切れ目ない連続観測とスペクトル周期帯表示による全国沿岸の長周期波観測情報システム，海洋開発論文集，Vol.18，pp.149-154，2002.
- 3) 佐藤慎司：長周期波と漂砂・海浜変形との相互干渉について，海洋開発論文集，Vol.18，pp.161-166，2002.
- 4) 吉岡 洋・芹沢重厚・高山知司：高潮災害における副振動の影響，海洋開発論文集，Vol.18，pp.125-130，2002.
- 5) 白石 悟・米山治男・佐藤平和・笹 健児：数値シミュレーションによる係留船舶の長周期動揺の評価に関する考察，海洋開発論文集，Vol.18，pp.137-142，2002.
- 6) 平石哲也・平山克也：港湾における長周期波対策の現状と課題，海洋開発論文集，Vol.18，pp.143-148，2002.
- 7) 中村孝幸・飯干富広：超長周期波の制御を目的とする大型共振装置の組み合わせ効果について，海洋開発論文集，Vol.18，pp.131-136，2002.
- 8) 関本恒浩：長周期波の設計への反映に関する取り組みの現状と課題，海洋開発論文集，Vol.18，pp.167-172，2002.