

論文の内容の要旨

論文題目 大波高波浪中を航行する船舶の運動及び波浪荷重に関する研究

氏名 三宅 竜二

船体を合理的に設計するためには、波浪による波浪荷重を設計段階で精度良く推定することが必要であり、近年における船体の合理的な設計に伴い、波浪による波浪荷重を設計段階で精度良く推定することのみならず、大波高中における船体応答についても推定することが必要とされてきた。このような大波高中の応答は、波高に対する顕著な非線形特性を示すことが従来の研究から知られており、波高による影響を厳密に考慮した非線形数値計算法が望まれている。しかし、現時点では非線形数値計算法は未だ確立されておらず、設計ツールとして用いることは困難な状況にある。また開発された非線形数値計算法の検証を行うために必要な大波高中における系統的な実験データも非常に少ない状況にある。

そこで本研究では、大波高波浪中を航行する船舶の運動や波浪荷重、波浪変動圧力などの非線形特性を詳細に調べ、非線形現象を正確に把握するという目的から、船型が異なる二種類の模型船(VLCC, Container Ship)を用いて、模型船と入射波との出会角、出会周波数及び入射波高を系統的に変化させ、その中を航行する船体の運動、船体に働く波浪荷重及び船体表面の波浪変動圧力の計測を行い、これら応答の非線形特性について詳細に考察を行った。また、水槽実験から得られた VLCC Model 及び Container Ship Model の実験結果とランキ

ンソース法による線形計算結果及び既存のストリップ法による計算結果とを比較することで、線形理論の有効性、ストリップ法に対する三次元理論(ランキンソース法)の有効性、さらに、これら線形理論の適用限界などについて検討を行った。また、線形ランキンソース法に静的復原力やフルード・クリロフ力などの非線形性を近似的に組み込んだ近似非線形計算を行い、実験の結果として得られた各種非線形特性の要因について考察を行った。

次に本研究で得られた実験結果の一例を図1から図4に示す。

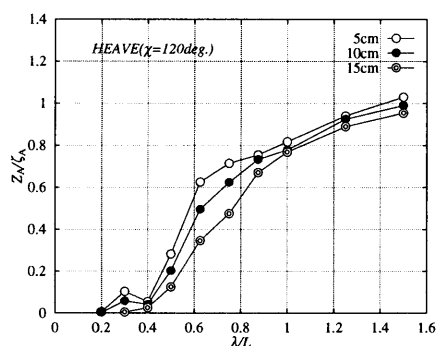


図1 Heave 運動の周波数応答特性

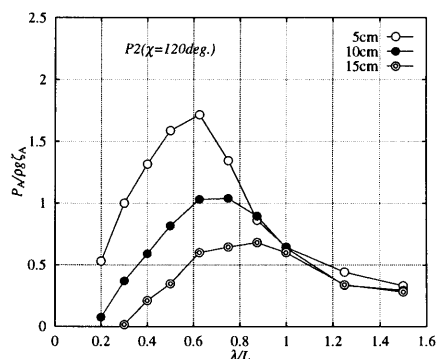


図2 波浪変動圧の周波数応答特性

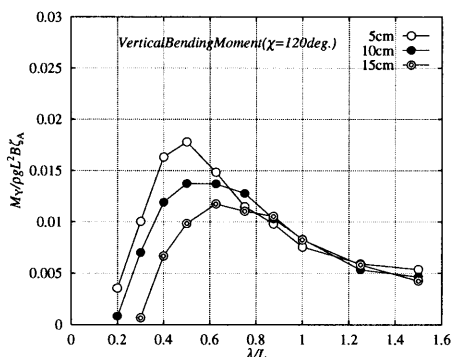


図3 船体中央垂直曲げ波浪荷重の周波数応答特性

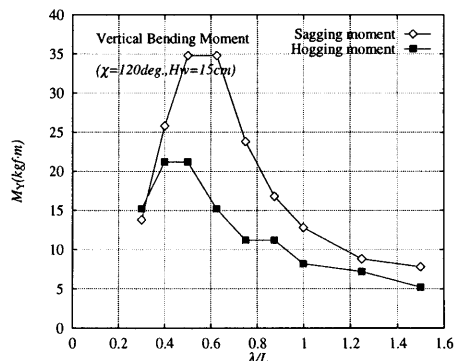


図4 サギングモーメントとホギングモーメントの比較

図1は Heave 運動の周波数応答特性を表したグラフで、横軸に波長船長比 (λ/L) をとり、縦軸は入射波の振幅で無次元化した Heave の運動変位の振幅を表している。

図2は船体前半部、水面付近における波浪変動圧力の周波数応答特性を表したグラフで、横軸に波長船長比 (λ/L) をとり、縦軸は入射波の振幅で無次元化した波浪変動圧力の振幅

を示している。

図3は船体中央に働く垂直曲げモーメントの周波数応答特性を表したグラフで、横軸に波長船長比 (λ/L) をとり、縦軸は入射波の振幅で無次元化した垂直曲げモーメントの振幅を表している。

図4はサギングモーメントとホギングモーメントの周波数応答特性を表したグラフで、横軸に波長船長比 (λ/L) をとり、縦軸はサギングモーメント及びホギングモーメントの最大値を表した物である。図1～図3中の凡例 “5cm”、”10cm”、”15cm” はそれぞれ入射波の波高を示しており、縦軸は入射波の振幅で無次元化した値を示している。入射波の振幅を2倍、3倍と変化させた場合に、波高に対するそれぞれの応答が線形に変化するならば同一の値を示すはずである。ところが、実験結果を見ると波高を5cm、10cm、15cmと徐々に大きくすると、それぞれの応答が小さくなっていることが示されている。これらの結果より、実験結果は波高に対して顕著な非線形性を有することが示されている。また図4の凡例、サギングモーメントとホギングモーメントは、それぞれ周期的に変動する垂直曲げモーメントの最大値と最小値の絶対値を表したものであり、これらは船体に働く荷重が線形な現象であれば、同じ値をとるものである。しかし実験結果では異なる値をとることが示され、入射波高が大きいときは船体に働く荷重には非線形な成分があることがわかる。本研究ではこのような非線形現象を詳細に調べた結果、以下のような結論を得た。

[船体運動について]

- (1) Roll 運動の同調現象に伴う運動の非線形性は従来の研究から知られていたが、本実験においても同様の非線形性が確認された。VLCC Model では斜向波において顕著に見られたが、Container Ship Model ではRoll 運動の固有周期が長く、本研究での実験では同調周期付近の計測を行っていないため、顕著な非線形性は確認されなかった。
- (2) VLCC Model 及び Container Ship Model 共に斜向波や横波の短波長域において Heave 運動の振幅が波高の増大と共に明らかに小さくなる非線形性が確認された。さらに、Heave 運動の非線形性が確認された波向、波長域では、ストリップ法、ランキンソース法などの線形理論による計算結果が、共に実験結果より顕著に大きい。この傾向は向波中を航走する Container Ship Model の場合に顕著である。すなわち VLCC Model、Container Ship Model に関わらず、Heave 運動においては、向波や斜向波中で波高が5cm (実機で約3m程度) でもすでに何らかの非線形が現れているものと結論づけられる。

[変動圧力について]

- (1) VLCC Model 及び Container Ship Model において、波浪変動圧力は、向波、斜向波、横波中において波高に対する非線形性が大きく、そのほとんどは単位波高あたりの変動圧力応答振幅が波高の増大と共に小さくなるという非線形性であった。水面近傍でかつ船首に近い部分の圧力においては非線形性が大きい。
- (2) Container Ship Model では、斜向波において、計測したほとんどの圧力点において、短波長域で波高に対する明確な非線形性が認められる。この原因の一つとして考えられるのは、斜向波中の Heave 運動に同様な非線形性が見られることであり、このために静水圧や Radiation 力の変動振幅が波高に対して非線形となり、船側や船底などの水面から深い部分における圧力に非線形性が現れたとも考えられる。
- (3) VLCC Model 及び Container Ship Model において、Roll 運動の同調点付近で水面近傍のみならず、水面よりかなり深い部分においても変動圧力振幅に顕著な非線形性が見られた。このような非線形性は Roll 運動やそれと連成する Sway 運動に伴う Radiation 力の非線形性が主たる原因であると考えられる。
- (4) Container Ship Model は VLCC Model と異なり船首に大きなフレアを有するために、船首部における波の Diffraction によると考えられる顕著な非線形性が現れる。

[船体中央曲げモーメントについて]

- (1) VLCC Model では船体縦曲げモーメントの変動振幅は、波高に対する非線形性は小さい。一方、Container Ship Model では、縦曲げモーメント、水平曲げモーメントの波高に対する非線形性は大部分の波向・波長域において小さいが、斜向波の短波長域では縦曲げモーメント、水平曲げモーメントに顕著な非線形性が認められることが特徴的である。また、向波 (180deg.) や斜向波 (150deg.) の長波長域において、波高が大きくなるにつれて、単位波高あたりの振幅が大きくなる非線形性が確認された。この非線形性については近似非線形計算においても再現されており、コンテナ船特有の船首の大きなフレアに伴う復原力やフルード・クリロフ力の非線形性によるものと思われる。
- (2) VLCC Model では、向波では従来の知見通り、サギングモーメントの方が、ホギングモーメントより大きい傾向が示されたが、他の波向、特に斜追波や追波における長波長域では、逆に大波高においてはホギングモーメントがサギングモーメントの値を大きく上回る傾向が確認された。一方、Container Ship Model では、向波から追波に至る全ての波向、ほぼ全ての波長域においてサギングモーメントの方がホギングモーメント

トより大きいことが示された。また、その差は波高が高くなるにつれて非線形的に大きくなることが認められ、この傾向は向波，斜向波では長波長域で顕著であり、逆に斜向波や斜追波では短波長域で顕著となり、完全な追波では、また長波長域にこの傾向がシフトするという特徴が確認された。またこの傾向は近似非線形計算法においても再現できるため、フレア部が水中に没水する際に働く大きな復原力やフルード・クリロフ力によってサギングモーメントが大きくなるのであろうと考えられる。

復原力とフルード・クリロフ力だけの非線形性を近似的に考慮した近似非線形計算では、線形計算では説明できないような大波高による非線形性をある程度説明できることが示された。しかしながら、例えば、Container Ship Model の斜向波 120deg. における変動圧力や縦曲げモーメントに典型的に見られたような、このような近似非線形計算法では説明できない現象も少なからず存在することから、今後は Radiation 力や Diffraction 力の非線形性を考慮したより厳密な計算法の開発が望まれる。