

目視波高と船体動揺について

水口 文洋*¹ 東 明彦*² 大鍋 寿一*³

Ship Motion and Influence of Observed Wave Height

Fumihiro Mizuguchi, Akihiko Higashi, Hisaichi Ohnabe

Abstract

The ship motion is induced by waves and its magnitude depends on the wave direction. Such motion increases the probability of an accident such as a fall or collision. Understanding the relationship between a ship's motion and wave height can help to reduce or prevent accidents on board. Generally, it is assumed that the maximum wave height is proportional to the significant wave height. The ship motion is expressed as the significant acceleration. If the significant acceleration is proportional to the maximum acceleration then the maximum acceleration can be derived from the significant acceleration. We investigate the likelihood and extent of an accident from the maximum acceleration. However, it is found that the significant acceleration is not proportional to the maximum acceleration.

Key Words: Wave, Ship, Significant acceleration, Maximum acceleration

1 はじめに

少子高齢化が叫ばれる現在、65歳以上の高齢者の比率は総人口の1/5^①を占め、2050年にはその比率が1/3に達するという超高齢化社会の予測^②がなされている。わが国では新バリアフリー法が2008年12月に施行され、高齢者や障害者に対しても公共建物や宿泊施設では、その自立や介護の負担を軽減するためのバリアフリー設計が進められることになった。また輸送機関であるバス・電車・航空機等にあっても段差をなくし、車いすでの移動も可能とする高齢者・障害者にも利用可能なものに徐々になりつつある。これらは何れも利用期間が短く、基本的に輸送機関の中で移動することは考えられていない。一方海上交通における旅客船は、短距離航路の場合を除き単なる移動手段としてだけでなく、余暇として船旅そのものを楽しむことも主目的であり、船内の移動もバリアフリー化が図られている。

しかしながら船舶は波浪によって動揺するものであり、単に船内のバリアフリー化だけで安全は保たれない。船舶の動揺は乗船者に搭載物品の落下や転

倒・転落さらに壁面等への衝突による傷害の危険を及ぼすことになる。因みに陸上の場合ではあるが、統計によれば2004年の転倒・転落事故による総死者数は約6500人であり、高齢化に伴って年々死者数が増加する将来予測^③がなされている。船舶での転倒・転落事故についての統計的なデータは見当たらないが、バリアフリー化の促進で高齢者・障害者の利用が促進され、動揺の影響を受けるだけに、発生割合は陸上に比べかなり多くなることが予測される。

船の動揺についての研究は、車いすへ及ぼす影響に関するものがほとんどである。旅客船での車いす利用に関する研究は、停止時の動揺による滑りと後方転倒に関するもの^④、甲板上の特定のコースを外れることなく走行するために必要なトルクを求めたもの^⑤がある。これらは動揺が正弦的であると仮定したものや、走行への特定の動揺の影響を調べたものである。これに対し我々は特定の船舶の動揺データを活用し、動揺時に車いすを停止させるに必要なトルク^⑥を求めた。さらに特定方向の異なる波高

Received November 10, 2009

*¹ 海上保安大学校 mizuguchi@jcga.ac.jp

*² 海上保安大学校 higashi@jcga.ac.jp

*³ 新潟医療福祉大学・ピッツバーグ大学客員教授 ohnabe@nuhw.ac.jp

による動揺が車いす停止トルクへ及ぼす影響を求め、有義加速度が目視波高と最大停止トルクを関係付ける有用な指標であることを明らかにした⁸⁾。本研究では波の方向と目視波高が船舶動揺を代表する有義加速度へ及ぼす影響を求め、船内事故防止のための基礎データとする。

2 動揺データ

データは日本と米国間の北太平洋を航行する全長180m、総トン数4万5千^トの自動車運搬専用船の床面に設置された3軸方向の加速度と同軸回りの角度(roll, pitch)・角速度(yaw)を検出することができる検出器(角度センサ: JCS-7401〔日本航空電子工業(株)〕によって採取された。

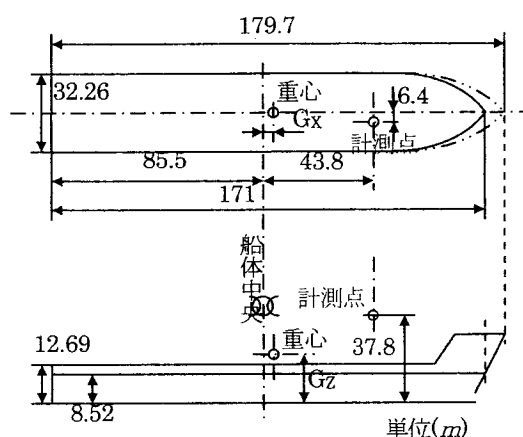


図1 船体と計測位置

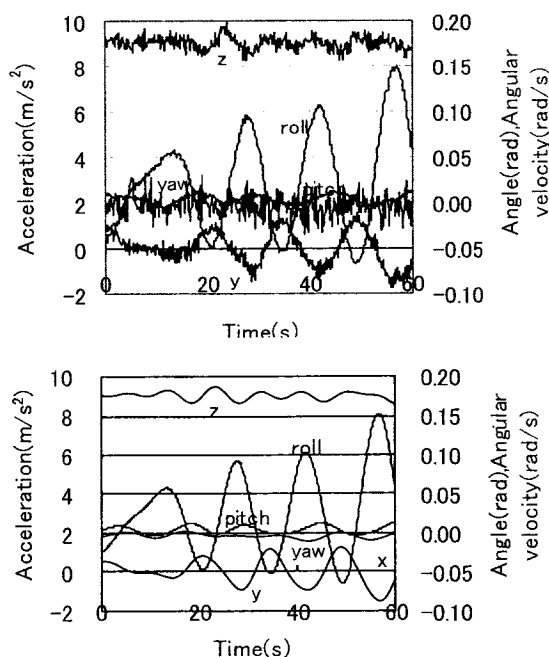


図2 フィルタ処理前後の採取データ

検出器は運搬船の船体中心から船首方向に43.8m、

右舷側に6.4m、船底から上方に37.8mの位置に設置された(図1)。出港時船体状況は排水量24500^ト、喫水8.4m、重心高さ13.5m、重心位置(船体中心から船尾方向へ)5.0m、GM2.0mであった。

データ採取は1時間(サンプリング周期0.2sec、データ数18000)を単位とし、その間の船体動揺に影響を及ぼすとされる船速・風向・風力・波の方向・波の周期・波高・主機回転数も併せて記録している。検出器で採取した生データは主機関の振動等の高周波成分を含んでいるため、フィルタ処理した。フィルタ処理前後のデータを図2に示す。なおx, y, zは船首・右舷・甲板下方向軸を示す。

フィルタ処理後の各軸平面の加速度データの時間軌跡の一例を図3に示す。y, z方向の加速度に比べx方向の加速度は、大きさ変動幅とも小さく、ほぼゼロであった。

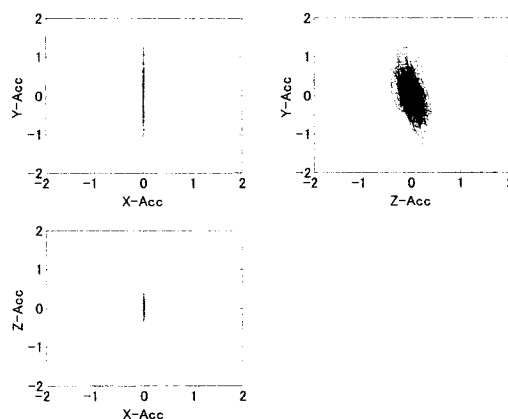
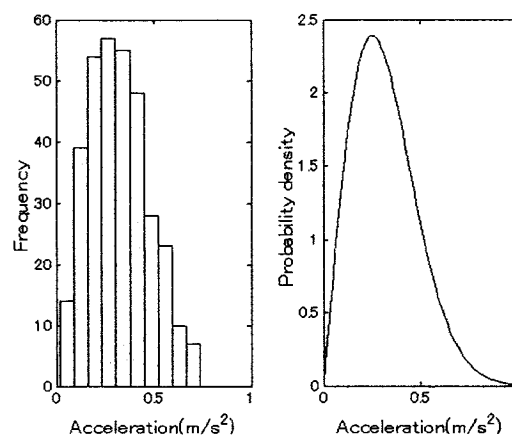


図3 加速度の軸平面軌跡

3 有義加速度

海の波は高い波や低い波が混在した複雑な状態であり、統計的な取扱が取られている。目視波高は有義波高に近いので、一般に波高といえば有義波高を



(a) 頻度分布

(b) Rayleigh 分布

図4 y方向加速度の頻度分布とRayleigh分布

指す。また波浪による船体の鉛直方向の動揺加速度も波高と同様に統計的に扱われ、有義加速度⁹⁾として表されることが示されている。計測された加速度のうち小さい x 方向の加速度は無視し、 y ・ z 方向の加速度は有義加速度として表した。単位時間当りのゼロアップクロス法による波高 3mの波を右舷 110度方向から受ける場合の y 方向加速度の単位時間当たりの頻度分布を図4(a)に示す。この頻度分布から得られた最尤値を用い Rayleigh 分布を描いたものを図4(b)に示す。両者の類似からも、改めて船体動揺の有義加速度表示が妥当であることが分かる。

4 平均加速度と有義加速度

4.1 各座標軸方向の平均加速度

波の方向は船の動揺に大きな影響を及ぼす。船首方向からの波を 0° とし、時計回りに方向角をとれば、右舷方向は 90° ・左舷方向は 270° になる。特定方向の特定波高の波を受ける場合の y 軸方向の加速度の平均値を図5(a)に、 z 方向の平均加速度を図5(b)に示した。 x 方向の平均加速度は y の最小平均加速度の3%以下であるので省略する。

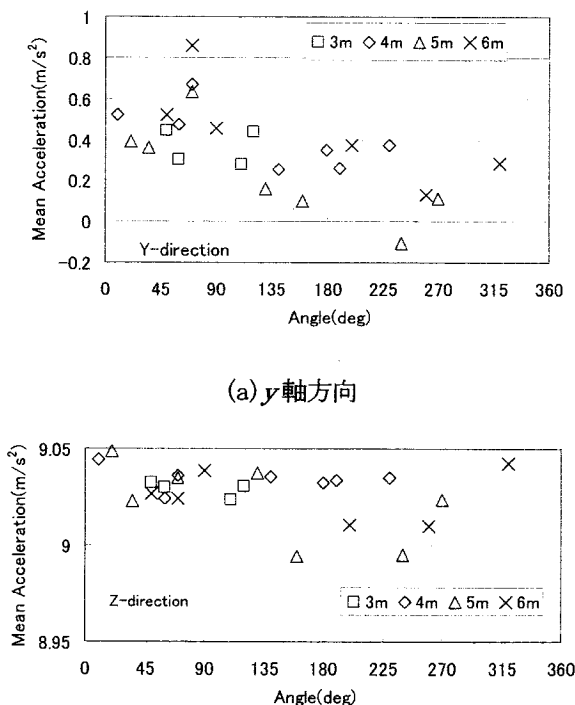


図5 軸方向平均加速度の波方向角変化

まず z 方向の平均加速度は、本来ならば重力加速度の値に略等しい値になるべきであるが、 9m/s^2 を若干超える程度の値であった。これは検出器の校正が十分行われていなかったため発生したものと考えられる。 z 方向加速度平均値は、 $9\text{m/s}^2 \sim 9.05\text{m/s}^2$

の範囲に波方向角度によらず変動している。

次に y 軸(右舷)方向の平均加速度は、波の方向角と波高の高さによる影響は図からは読み取ることができない。 y 方向の平均加速度は船舶のヒール状態に依存し、船体傾斜により重力加速度の y 方向成分が生じたものと推定される。計測された平均ヒール角度と平均加速度の関係をプロットしたものを図6に示す。図からヒール角度と y 方向の平均加速度は比例していることが分かる。また、平均加速度がゼロとなる角度が約 1.7° であることから、クリノメータの設置についても当初から傾斜して取り付けられていたか、あるいは加速度検出器が取り付けられた甲板面が傾斜(キャンバー等により)していたものと考えられる。

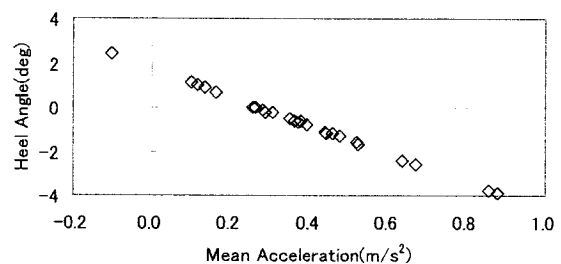
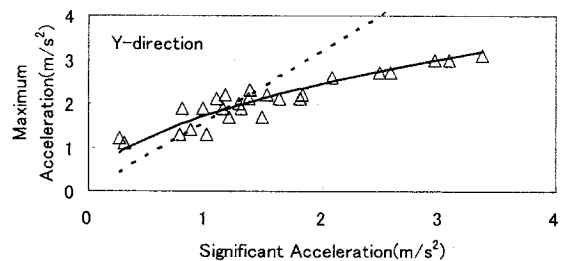


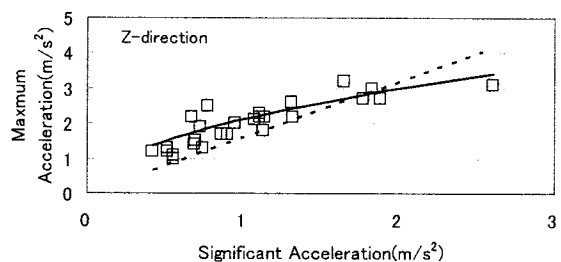
図6 ヒール角度と y 方向の平均加速度との関係

4.2 各座標軸方向の有義加速度

船の不規則な動揺による加速度は、図4に示されるような分布を示す。単位時間中に発生する様々な加速度の中で、最大加速度が最も事故発生の危険性に影響を与えることから、有義加速度と最大加速度



(a) y 軸方向



(b) z 軸方向

図7 最大加速度と有義加速度

の関係を求める。

各座標軸方向の最大加速度と有義加速度の関係を図7に示す。図から最大加速度と有義加速度とは略比例関係にあることが分かる。図中の破線は、100分の1最大波高が有義波高の約1.6倍(確率論)ということから、これを加速度にも当てはめて最大加速度と有義加速度との関係を示したものである。 z 方向については比較的この関係を満たしているものの、 y 方向については有義加速度が大きくなるに従ってこの線から離れ、この関係を当てはめることには無理がある。有義加速度が大きくなっても、最大加速度が大きくなるのは、最大加速度が発生するときには、船体運動も大きくなり、船体運動が大きくなれば、船体形状の非線形性が影響する(形状的非線形という)ために、最大加速度が抑えられる一般的な傾向にも合致している。そこで原点に頂点を持つ放物線に回帰させる。こうして求めた曲線を実線で示す。波高の場合は単純に最大波高が有義波高(目視波高)に比例するとして取り扱うことができるものの、波によって起こされる船の動揺加速度はこのような特性にはならない。対象とした船舶では有義加速度と最大加速度の関係は次のようになった。

$$\ddot{y}_{\max} = 1.73\sqrt{\ddot{y}_s} \quad (1)$$

$$\ddot{z}_{\max} = 2.12\sqrt{\ddot{z}_s} \quad (2)$$

ここで \ddot{y}_{\max} 、 \ddot{z}_{\max} は y 、 z 方向の最大加速度を、 \ddot{y}_s 、

\ddot{z}_s は有義加速度を表す。従って上式から有義加速度が分かれば本船舶の最大加速度が分かることになる。

4.3 波の方向と有義加速度

船舶の揺れの主体的な方向は y 方向と z 方向であることから、動揺の形態を表すために y 方向の有義加速度を z 方向の有義加速度で除した値(形態値と呼ぶ)で表し、波の方向角での変化を調べた。

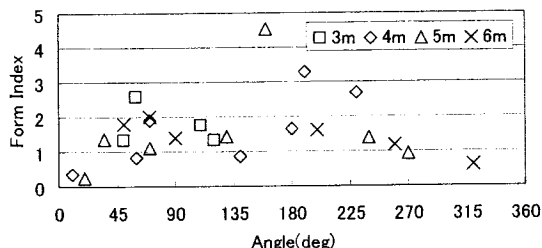


図8 波の方向と形態値

これを図8に示す。形態値が1の場合は y 及び z 方

向の有義加速度が等しい場合で、図3で示した y - z 平面での加速度軌跡が円形になる場合である。形態値が1より小さければ図3の縦長の楕円、1より大きければ横長の楕円になり、左右舷方向の揺れが主体的であることを示している。

図から左右船首方向から波を受ける場合は形態値が1以下となり、上下方向の動揺が主体的であることが分かる。それ以外の角度では略1以上の値を取り、左右舷方向の揺れが主体となっていることが分かる。また、波高の形態値への影響は特に認められない。

次に、形態値の基準とした z 方向有義加速度の波の方向による変化を図9に示す。この実測結果

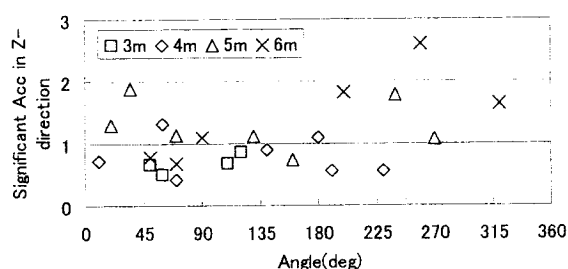


図9 波の方向と z 方向有義加速度

からでは、明確な波の方向角の z 方向有義加速度への影響は判断できない。また波高の z 方向有義加速度への影響は、一部逆転現象が見られるものの大きいものほど大きい加速度を生ずると云える。これらのデータは船速略16 knot(± 2 knot)で採取されたものであり、本来ならば船速一定でのデータ採取が望まれる。

5 結論

計測されたデータを解析した結果以下の結論を得た。

- (1) 船の動揺による加速度はRayleigh分布である。
- (2) z 軸方向の平均加速度は重力加速度の軸方向成分である。
- (3) 最大加速度と有義加速度とは有義波高と最大波高の関係のように比例しない。
- (4) 船首方向からの波を受けると形態値が1以下となり、 z 方向加速度が y 方向のものより主体的になる。
- (5) 波の方向角の z 方向有義加速度への影響は明確ではないが、波高の大きさに略比例する。

目視波高と波の方向角が、有義加速度と特定の関係にあるのではないかとという予測のもとにデータの解析を行ったが、残念ながら明確な結果を得ること

ができなかった。これはわずかな船速の違いが、結果に大きく響いたためであると推測される。今後は、速度管理はもとより、加速度に影響を及ぼす因子を排除した上で、目視波高と波の方向角と有義加速度の関係を明らかにしたい。

参考文献

- 1) 総務省 統計データ 高齢者人口(平成 21 年 9 月 15 日現在)
<http://www.stat.go.jp/data/topics/topi411.htm>
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所 日本の将来推計
人口 -平成 18(2006)年 12 月推計-
- 3) 日本転倒事故防止協会
<http://www.fpoj.org/>
- 4) 有馬ほか, 動揺環境における車いすのユーザビリティ評価に関する研究(第 1 報) -後輪ブレーキ状態の-, 日本造船学会論文集, No.188(2000), 419-427.
- 5) 今里, 平田, 加速度条件下における車いす操作モデルの開発, 日本機械学会第 11 回交通・物流部門大会講演論文集, (2002), 303-306.
- 6) 水口・東・大鍋, 船の動揺が手動車いすに与える影響について -停止させるに必要な左右トルクについて-, 日本機械学会関東支部第 13 期総会講演会論文集(2007), 333-334.
- 7) 水口・東・大鍋, 船の動揺が手動車いすに与える影響について(2) -任意の甲板上に停止させるに必要な左右トルク-, 日本機械学会 2007 年度年次大会講演論文集(6), (2007), 41-42.
- 8) Mizuguchi, F., Higashi, A., Ohnabe, H., et al, Safety issues for manual wheelchairs aboard 'Barrier-Free' ships (II) -Prediction of torque requirements to control Wheelchairs by Observed Wave Height-, 第 23 回リハ工学カンファレンス in 新潟講演論文集, (2008), 209-210.
- 9) 出口ほか, 大型高速艇の波浪中縦曲げモーメントに関する一考察, 西部造船学会会報 92 号, (1996)