単錨泊船の振れ回り運動中に生じる錨鎖張力の 緩和に関する研究—II—

—バウスラスターを利用した錨鎖張力の緩和—

井 上 欣 三*

An Investigation on Reducing Cable Tension Caused by Swing Motion of a Ship Moored at Single Anchor in Wind—II —On Reducing Cable Tension by Application of Bow Thruster—

Kinzo INOUE

Abstract

The author tried to evaluate by means of simulation that to what degree cable tension can reduce through the effect of bow thruster which was operated so as to lessen the difference of the angle between the direction of the wind and the ship's head. The results of the simulation showed that not only cable tension but also the extent of swing motion reduced significantly by application of bow thruster, and gave us some instructions regarding the operation of bow thruster as follows;

- (1) The degree of the effect is not concerned in the starting point of operation of bow thruster.
- (2) It is not desirable to do so sensitive control for the small difference of the angle between the direction of the wind and the ship's head.
- (3) In the present condition, it is suitable to permit the steady swing motion to some extent, in this sense, the adequate magnitude of the thrust of bow thruster seems to be 60~80% of the frontal wind pressure of the ship.
- (4) Then, it is expected that the magnitude of cable tension decreases by about 40%, and the extent of swing motion decreases by 35% at least.

1. はじめに

第1報⁽¹⁾においては、錨泊船の振れ回り運動中に生じる錨鎖張力の大きさは主として船体重心の横移動速度と船首回頭角速度の大きさに依存することを示すとともに、安全な錨泊を確保するにはこれらの要因に対して適切なコントロールを行う必要があることを指摘した。

錨泊時の安全対策としての喫水の増加やトリムの調整は、風抵抗の減少・水抵抗の増加という手段によって振れ回り運動速度の軽減を計ったものであると解釈できるが、受風面積が大きい上に喫水やトリムの調整のむづかしい自動車専用船やカーフェリーなど、一般に錨泊に弱いと言われている船舶に対してはさらに積極的に振れ回り運動速度をコントロールする必要があると思われる。

そこで、ここでは、バウスラスターが発生する横力と回頭モーメントを利用して船体の横移動速度と船首回頭角速度を減衰させることを試み、これが振れ回りの抑制および錨鎖張力の緩和にどの程度効果的であるかをシミュレーションにより評価した。

2. 単錨泊振れ回り運動のシミュレーション

2.1 座標系および運動方程式

風の中で単錨泊する船の振れ回り運動を図1に示す座標系を用いて表わすことにする。

* 正会員 神戸商船大学（神戸市東灘区深江南町5丁目1-1）

図1 座 標 系

ここに、

0—XY 錨位置を原点とする静止空間座標

G—x y 船体重心を原点とする船体固定座標

ϕ 船首尾線とY軸のなす角(船首角)

θ 錨鎖とY軸のなす角(錨鎖角)

である。風はY軸に沿って図の上方から下方に向かって吹くものとする。また、船体運動は平面運動に限定して取り扱い、次式に示す操縦性の運動方程式を用いて表わすことにする。

$$(m+m_x)\dot{U} - (m+m_y)VR = F_{xw} + F_{xc} \dots\dots\dots (1)$$

$$(m+m_y)\dot{V} + (m+m_x)UR = F_{yw} + F_{yc} + F_{yH} + (F_{yB}) \dots\dots\dots (2)$$

$$(I_{zz} + J_{zz})\dot{R} = M_{Gw} + M_{Gc} + M_{GH} + (M_{GB}) \dots\dots\dots (3)$$

(1), (2), (3)式中のU, V, Rは重心を原点とする船体固定座標における船首尾方向, 正横方向, 回転方向の速度成分であり, F_x , F_y はそれぞれx軸方向, y軸方向の外力を, M_G は重心回りの外力モーメントを表わしている。

ここで、右辺外力項には風圧力(添字Wの項), 錨鎖反力(添字Cの項), 船体の流体力(添字Hの項)を考慮し、さらに、バウスラスタを作動する場合は添字Bの項を付加する。

計算はすべて実船値を用い、時間刻みを1秒としてオイラー法により数値積分を行ったが、シミュレーション実施にあたって設けた基本的な仮定は次のとおりである。

(1)風向, 風速は一定とし、風圧力係数は辻氏⁽²⁾らの模型実験結果を用い、風圧力係数の相対風向角による変化は sin, cos 関数で近似できるものとする。

表1 モデル船の主要目および計算条件

項	目	実 船 値
船体主要目	総トン数 (GT)	16, 109.32ton
	全 長 (L_{oa})	224.98m
	垂線間長 (L_{pp})	210.00m
	幅 (B)	32.20m
	深 さ (D)	27.60m
船体コンディション	喫水(満載, 等喫水)	9.33m
	排水量(満載)	32, 889.00ton
	正面受風面積	855.89m ²
	側面受風面積	5, 051.99m ²
	縦慣動半径	0.3 L_{pp}
	G M	0.03B

(2)錨鎖と海底との摩擦および錨鎖に働く流体力は無視し、錨鎖は常に同一鉛直面上にあるものとする。

(3)錨鎖反力は錨鎖の船体側取付点と錨位置との幾何学的関係を用いてカテナリー理論に基づいて計算する。

(4)本船はプロペラの回転および操舵は行わない。また、船体に働く流体力のうち前後方向の力は小さいとして無視する。

(5)流体力に関する諸係数は第2回操縦性シンポジウムテキスト⁽³⁾に示される方法にしたがって求める。

(6)シミュレーション開始時の船体初期位置は船体に働く外力と錨鎖反力が釣り合う点とし、初期位置において船首角10°の初期偏角を与えるが、1800秒間は空計算させ、その直後からの1時間を単位としてアウトプットさせる。

表2 錨および錨鎖の要目

項	目	規 格	備 考
錨の重量		10ton	
錨鎖の径		76mm	
錨鎖の単位重量		126.5kg/m	
錨鎖の破断試験荷重		306.65ton	} 第2種錨鎖 JIS 規格
錨鎖の耐力試験荷重		219.05ton	

2. 2 計算結果

シミュレーションのモデルとした船は第1報での模型実験に供試船として用いた自動車専用船であり、計算にあたって設定した船体コンディション, 錨, 錨鎖の条件は表1, 表2のとおりである。計算はまず、バウスラ

図2 振れ回り運動の軌跡

図3 振れ回り運動における各要素の時間変化

図4 船体重心の横移動量と横移動速度の関係

図5 船体重心の横移動量と船首回頭角速度の関係

ターを使用しない状態で、錨鎖伸出長12節、風速15m/s、20m/s、30m/sについて行った。一例として風速20m/sの場合の結果を図2～図5に示す。

図2は振れ回り1周期中の船首、船尾、重心の軌跡をプロットしたもので、1分ごとの船体姿勢も併せて示している。なお、図のますめの一辺は $0.5L_{pp}$ に相当する。図3は振れ回り運動中の各要素の時間変化の様子を錨鎖張力の変動とともにシミュレーションタイム1時間について示している。また、図4、図5は重心の横移動量と横移動速度および重心の横移動量と船首回頭角速度の関係を位相図で表わしており、図には衝撃力および定常張力の発生時機をその大きさとともにプロットしている。

一連の計算結果は図2にみられるように重心の振れ回り軌跡が多少偏平になることや、定量的な面において錨鎖張力や運動速度に関連する要素の絶対値が約2倍程度過大に見積もられることなど、模型実験結果との対応に

において完全な一致は得られなかった。これは錨鎖反力の計算をカタナリー理論によったこと⁽⁴⁾、流体力係数や風圧力係数を他の類似船型から推定したことなどに起因するものと考えられ、今後改善してゆかなければならないが、その他の定性的な面においては模型実験結果の特徴をよく表わしているといえる。

殊に、船体が一旦風に立った後、急激な船首回頭に加えて船体が風下におとされ、錨鎖と船首尾線がほぼ一線になる付近で衝撃力が発生し、このとき、船首回頭角速度が最大となる様子や、定常張力の発生に関して、錨鎖角が 0° となる付近から船体重心がY軸を横切る付近にかけて横移動速度が最大となり、このとき縦移動速度および船首回頭角速度がほとんど0となる様子など、今後のシミュレーションにおいて重要と思われる点についてはほぼ満足できる程度に再現されている。

ここに求めた計算結果は、今後、バウスラスターの効果を評価するための基準値として用い、効果の程度はこの計算結果を基準とした比率で表わすことにする。

3. バウスラスターによる船首角制御

3.1 シミュレーションの方法

バウスラスターは重心の前方 $0.41L_{pp}$ の所に装備され、作動直後から時間遅れなく左右とも同じ大きさの一定推力が持続するものと仮定する。また、バウスラスターの発停は今のところ航海士の手動操作によることを前提とする。

バウスラスターの on-off 動作を人間の手を経ず自動的に行うシステムにおいては、制御対象を船体の横移動速度、船首回頭角速度、または、船首角とこれらの組み合わせといった複雑なものに選んでも機構的に処理し得るであろうが、ここでは、現状の船で航海士がバウスラスターの発停時機や推力方向の決定を容易に察知し、判断できる対象として風向と船首方位の偏角、つまり、船首角を制御対象に選んだ。

また、風軸を中心に左右それぞれ一定の船首角の範囲内においてはバウスラスターによる制御操作は行わないものとする。このような一定の船首角の範囲をここでは不感帯と呼ぶことにする。

すなわち、本シミュレーションは風向と船首方位の間に一定以上のずれが生じたとき、そのずれを解消する方向にバウスラスターを作動させ、できるだけ船首を風に立てるようにしようとするものである。

この方法によるシミュレーション結果の一例を図6～図9に示す。計算条件は錨鎖伸出長12節、風速20m/s、バウスラスター推力15ton（正面風圧の0.61倍）、不感帯 $\pm 10^\circ$ であり、計算にあたっては、まずバウスラスターを使用しない状態で1周期振れ回らせ、その後、船体重心が最も左に振れ切った時点でバウスラスターによる

12shackles, 20m/s, 15ton, $\pm 10^\circ$

図6 バウスラスター作動後の振れ回り運動軌跡

図7 バウスラスター作動後における各要素の時間変化

図8 バウスラスター作動後における船体重心の横移動量と横移動速度の関係

図9 バウスラスター作動後における船体重心の横移動量と船首回頭角速度の関係

制御を開始した。

図6はシミュレーションタイム1時間についての振れ回り軌跡を示している。振れ回りの抑制に対するバウスラスターの効果は作動直後から顕著に現われ、次の1～2周期目にはスラスター推力と風圧外力とがバランスして定常的な振れ回り軌跡を示すようになることがわかる。図7は振れ回り運動の諸要素と錨鎖張力の減衰の様子を示し、図の最下段はバウスラスターの作動時間と推力の方向を表わしている。また、図8および図9は重心の横移動速度および船首回頭角速度の減衰の様子を船体の横移動量に対する位相図で表わしたもので、いずれもバウスラスター作動後直ちに効果が現われ、定常状態に至る様子がよくわかる。

この計算例ではバウスラスターによる制御を開始する点を船体重心が最も左に振れ切った点に設定したが、この他に制御開始点を種々変えて計算を実施したところ、どの場合も1～2周期後には全く同じ結果になることが確かめられた。したがって、振れ回り中のどの時点からバウスラスターを使用しはじめてもその効果に変わりはないといえる。

3.2 不感帯の設定

一定の船首角の範囲を不感帯として設定するとき、その範囲のとり方によって効果に差が生じることが予想される。そこで、錨鎖伸出長12節、風速20m/s、バウスラスター推力15ton（正面風圧の0.61倍）の同一条件のもとで、不感帯の大きさを $\pm 10^\circ$ 、 $\pm 5^\circ$ 、 $\pm 0^\circ$ に変えて計算を行い結果を比較した。表3は各要素についての減衰率をとりまとめたものであるが、ここに、減衰率とは基準値に対する減衰量を基準値に対する百分比で表わしたものである。

表3 バウスラスター制御における不感帯設定の効果
(計算条件 錨鎖伸出長12節、風速20m/s、バウスラスター推力15ton)

項目 不感帯の 大きさ	減 衰 率							
	衝撃力 (T_I)	定常張力 (T_S)	船体重心の 振れ回り振 幅 (X_G)	最大船首角 (ϕ_{max})	横移動速度 の最大値 (V_{Xmax})	船首回頭角速 度の最大値 (R_{max})	振れ回り周期 (τ)	振れ回り1周 期中における バウスラスタ ーの作動時間 の割合
$\pm 10^\circ$	-31%	-24%	-25%	-13%	-24%	-21%	-2%	85%
$\pm 5^\circ$	-30%	-25%	-26%	-15%	-24%	-26%	-2%	92%
$\pm 0^\circ$	-25%	-24%	-27%	-15%	-25%	-24%	-2%	100%

不感帯を設定する場合は設定しない場合に比べ、振れ回りの抑制効果はやや劣るが、衝撃力については逆に、不感帯を設ける方がその緩和効果は大きい。また、振れ回り1周期中におけるバウスラスターの作動時間の割合は不感帯を設けない場合は100%の稼動状態であるのに対して不感帯を $\pm 10^\circ$ に設定した場合は85%となってい

る。つまり、この場合、バウスラスターは振れ回り1周期中に15%の休止時間を持つことになる。

これらの点を考慮すればバウスラスターの操作に際しては、少なくとも $\pm 10^\circ$ 程度の不感帯を設定することが望ましいと思われる。そして、このような不感帯の設定はバウスラスターの稼動に余裕を与え、さらに、推力方向の切換時におけるバックラッシュの問題や実際の風の場合におけるこきざみな風向変動にも対処し得ることになり、実用面においてもその利点は大きいといえよう。

3.3 バウスラスター推力の大きさとその効果

3.3.1 振れ回り運動の抑制効果

バウスラスターの利用によってどの程度振れ回り運動が抑制され、錨鎖張力が緩和されるかを定量的に評価するために、ここでは、錨鎖伸出長12節、風速 15m/s, 20m/s, 30m/s, 不感帯 $\pm 10^\circ$ の条件のもとで一連のシミュレーションを実施した。なお、バウスラスターの推力は風速 15m/s (正面風圧 13.8ton) の場合は 2.5 ton~15 ton, 風速 20m/s (正面風圧 24.6ton) の場合は 5 ton~25ton, 風速 30m/s (正面風圧 55.4 ton) の場合は 10ton~60ton の範囲で設定を変えた。このような推力の大きさはいずれの風速においても正面風圧の 0.2~1.2 倍に相当する。

図10 振れ回り運動の抑制効果

図11 振れ回り運動速度の軽減効果

となることがわかった。

図10, 図11はバウスラスター推力の増大に伴ない振れ回りに関する諸要素がどの程度減衰するかを定常的な振れ回り状態を示す範囲内のデータについてとりまとめたものである。なお、図の縦軸は減衰率を示し、横軸はバウスラスターの推力を正面風圧に対する比で示している。

振れ回りに関する諸要素はバウスラスター推力の増大に伴ない顕著な減衰傾向を示す。いま、バウスラスターに正面風圧と同じ大きさの推力を与えると、船首角は30%, 振れ回り振幅は50%減衰し、かなり大きな振れ回り抑制効果が認められる。また、船首回頭角速度および重心の横移動速度もそれぞれ30%, 50%の減衰率を示し、運動速度を減衰させる効果も著しい。しかしながら、振れ回り周期にはそれほど大きな変化はみられない。このことは運動速度の減衰に伴って船体は全体にゆっくりとした振れ回り運動を行うようになることを意味している。

3.3.2 錨鎖張力の緩和効果

錨鎖張力に関しては、バウスラスターによる制御を行うことにより衝撃力のあらわれ方に異なった特徴がみられるようになる。図12はその様子を錨鎖伸出長12節、風速 20m/s を例に振れ回り軌跡とともに示したものである。図12(A)はバウスラスターを使用しない場合、(B)はバウスラスター推力 15ton (正面風圧の 0.61倍)、(C)はバウスラスター推力 25ton (正面風圧の 1.02倍) の場合であり、不感帯はいずれも $\pm 10^\circ$ である。なお、図には衝撃力と衝撃力発生時の船体姿勢を(1), (2)の番号を付して対応づけ、定常張力に関しては(3)の番号を付して対応づけている。

衝撃力は振れ回りの両端において、船体が風上に切り上がり錨鎖が一旦たるんだ後、急激な船首回頭とともに船首が風下におとされる過程の中で発生するが、バウスラスターを使用しない場合はこれらの状況がほとんど同時に重畳して作用するため衝撃力は図12(A)にみられるように振れ回りの両端で1回ずつ発生する。ところが、バウスラスターを使用して船体姿勢を制御するとき、衝撃力のピークは図12(B), (C)にみられるように相続いて2回あらわれるようになる。

図12 バウスラスター制御に伴う錨鎖張力の変動特性

図13 衝撃力の緩和効果

図14 定常張力の緩和効果

これはバウスラスターの姿勢制御効果と運動速度の軽減効果によって振れ回りの両端での船体運動がとくに緩慢になるとともに船体が風に立つ状況が長く続くようになり、結果的に図中(1)の番号で示すように主として船体の風下圧流にもとづく衝撃力と、図中(2)の番号で示すように主として急激な船首回頭などの船体運動にもとづく衝撃力が分離独立してあらわれるようになるためと推定される。

また、バウスラスターの推力を大きくするにつれて相続く2回の衝撃力のうち、1回目の衝撃力は次第に顕著になり、逆に2回目の衝撃力は減衰していく傾向がみられるが、これは、船首を風に立てる効果と運動速度を減衰させる効果がバウスラスターの推力増大とともに顕著になるためと考えられる。

図13、図14はバウスラスター推力の増大に伴ない錨鎖張力がどの程度減衰するかを定常的な振れ回り状態を示す範囲内のデータについてとりまとめたものである。なお、衝撃力については相続く2回のピークのうち大きい方のピークを代表値として取り扱った。

錨鎖張力の緩和効果は風速が弱いほど顕著であるが、風速が20m/s以上の強風域では効果の程度に大きな差はみられない。このように風速によって効果のあらわれ方に差が生じるのは錨鎖張力の持つ非線型性によるものと思われる。

風速15m/sにおける衝撃力の緩和効果は著しく、正面風圧の0.6倍のバウスラスター推力において約45%の減衰率を示す。しかしながら、それ以上の推力を与えると効果はむしろ減退する。風速20m/s、30m/sの強風域においては正面風圧の0.4~0.5倍の推力を与える頃から緩和効果は顕著となり、正面風圧の0.8倍で最も減衰率は大きくなる。このときの減衰率はほぼ38%であるが、やはりこれ以上の推力では逆に効果は減退する。

このように、バウスラスターに一定限度以上の大きな推力を与えると衝撃力の緩和効果が減退するのは、相続いて生じる2回の衝撃力のうち風下圧流にもとづく衝撃力がバウスラスター推力の増加とともに顕著な増大を示すことによるものである。

定常張力の緩和効果については、衝撃力の場合とほぼ同様の傾向を示し、正面風圧の0.8倍のバウスラスター推力において最も効果は大きく35~40%の減衰率となる。しかしながら、定常張力の場合はバウスラスターの推

図15 バウスラスターに過大推力を与えた時の振れ回り軌跡と錨鎖張力の変化
(シミュレーションタイム 0～60分)

図16 バウスラスターに過大推力を与えた時の振れ回り軌跡と錨鎖張力の変化
(シミュレーションタイム 60～120分)

力をさらに大きくしても著しい効果の減退はみられない。

3.3.3 有効なバウスラスター推力の大きさ

図15, 図16はバウスラスターに正面風圧よりもさらに大きな推力を与えたときの振れ回り軌跡と錨鎖張力の変動の様子を, 錨鎖伸出長12節, 風速 20m/s, バウスラスター推力 30ton (正面風圧の1.22倍), 不感帯 $\pm 10^\circ$ の場合を例に示している。なお, 図16は図15に引き続く1時間分のシミュレーション結果である。

この例にみられるように, バウスラスターの推力を正面風圧よりも大きくすると, もはや振れ回り運動は定常的ではなくなり, 運動振幅は急激に減衰する。そして, バウスラスター作動後1～2周期後には船体は一旦風に立ちほとんど静止状態に至る。このとき, 錨鎖張力は極めて小さくなるが, 船体はこの状態を保ち得ず, その後は激しい前後運動と不安定な左右へのドリフトを繰り返すようになる。これとともに錨鎖張力には極めて大きな衝撃力があらわれ, その大きさはバウスラスターを使用しない場合よりもかえって大きな値を示すこともある。

一般に単錨泊においては, 船体が風に立つ状態は不安定な平衡状態であり, 定常的な振れ回り運動を行う状態が安定な状態であるといわれている⁶⁾。この意味からすれば図15, 図16にみられるようにバウスラスターに強力な推力を与えて強引に振れ回りを抑止しようとするより, むしろ, 現状においてはある程度の振れ回りを許容しながら錨鎖張力の緩和を計るのが現実的であるといえよう。

したがって, 錨鎖張力の緩和を目的としてバウスラスターを利用する場合, 風速 15m/s においては正面風圧の0.6倍, 風速 20m/s 以上の強風域においては正面風圧の0.8倍程度の大きさの推力が適当であろうと考えられ, これにより錨鎖張力は衝撃力, 定常張力ともにほぼ40%減衰させることが可能であり, 同時に振れ回り振幅も少なくとも35%減衰するものと予想される。

4. む す び

バウスラスターの発生する横力と回頭モーメントを利用して船体の横移動速度と船首回頭角速度を減衰させることを試み, これが振れ回りの抑制および錨鎖張力の緩和にどの程度効果的であるかをシミュレーションにより評価した。本シミュレーションは風向と船首方位の間に一定以上のずれが生じたとき, そのずれを解消する方向にバウスラスターを作動させ, できるだけ船首を風に立てるようにしようとするものであり, 現状の船において直ちに適用可能な方法である。

振れ回り中にバウスラスターを使用する場合、このようなごく単純な制御方法によっても、振れ回りの抑制、運動速度の軽減、錨鎖張力の緩和に対しかかなりの効果を期待し得ることがわかった。また、バウスラスターの使用に関して次に示すような指針を得た。

- (1) 振れ回り中のどの時点からバウスラスターを使用しはじめてもその効果には変わりはない。
- (2) 風向と船首方位のずれに対して過敏な制御を行うよりは、むしろ風向を中心に $\pm 10^\circ$ 程度の不感帯を設定することが望ましい。
- (3) 現状ではある程度の振れ回りを許容しながら錨鎖張力の緩和を計るのが現実的であり、この意味においてはバウスラスター推力は予想される正面風圧の60～80%程度の大きさが適当と思われる。
- (4) このとき、錨鎖張力は衝撃力、定常張力ともにほぼ40%減衰し、同時に振れ回り振幅は35%減衰すると推定される。

なお、船体の姿勢制御効果が顕著になるにつれて風下圧流にもとづく衝撃力は増大するが、これは振れ回りの両端における錨鎖の一時的な弛緩現象に関連する問題でもあり、これに対しては今後、制御方法の改善やバウスラスター以外の強制力によるコントロール等を考慮する必要があると思われる。

参 考 文 献

- (1) 井上欣三, 単錨泊船の振れ回り運動中に生じる錨鎖張力の緩和に関する研究—I. 錨鎖張力の大きさに影響を及ぼす要因の分析, 日本航海学会論文集, 第65号, 昭和56年10月
- (2) 辻豊治他, 船体に働く風圧力に関する模型実験, 船舶技術研究所報告, 第7巻, 第5号, 昭和45年7月
- (3) 第2回操縦性シンポジウムテキスト, 日本造船学会, 昭和45年11月
- (4) 鶴田三郎, カテナリー理論の応用限界, 日本航海学会論文集, 第57号, 昭和52年8月
- (5) 米田謹次郎他, ブイ係留中の船のふれまわり運動の風洞実験—II, 日本航海学会論文集, 第30号, 昭和38年12月

質 疑 応 答

鞠谷宏士: バウスラスターの推力を強くした場合、一旦振れが収まった後、前後動と横移動を主体とする複雑な運動にかわり、錨鎖張力が大きくなるといわれますが、そのような状態になったときのスラスターの働きはどのようにかわるのでしょうか。

井上欣三: ひとつの例として図16におけるシミュレーションタイム45分付近での船体姿勢は右図のような状態ですが、このときバウスラスターの推力は右向きに働き、船首は風に立つ方向に回頭します。そして同時に船体をさらに右方に押すとともに前方に進出させる作用も伴います。このときの船体はほとんど運動速度をもたないので強力なスラスター推力の効果は顕著にあらわれ、結果的に船首は風に立ちますが、船体は右へさらにドリフトするとともに風上に進出し、錨鎖は一時的に弛緩します。したがって、その後生じる衝撃力はかえって大きな値を示すことになります。これが図16の45分から50分付近にかけてのスラスターの働きと張力変動の経緯です。このように、強力なスラスター推力はほとんど運動速度を持たない船体に対し一時的ではありますが横方向、前進方向への運動慣性を与えます。