

風・津波による船舶牽引力の評価への静的釣合い計算の適用性検討

(株)日本港湾コンサルタント 正会員 ○柴下達哉 正会員 金子大介
 国土技術政策総合研究所 正会員 宮田正史
 港湾空港技術研究所 正会員 米山治男

1. はじめに

港湾基準¹⁾における船舶の牽引力は、貨物船を対象にした風に対する動的解析による係船柱の牽引力算定結果²⁾に基づき、船型ごとに標準値として設定されている。しかし、近年、外航船の大型化傾向に伴い、岸壁設計当初に想定していた船種・船型と異なる船舶が着岸する場合が増えてきている。また、津波来襲時に港外退避できない船舶の係留避泊の安全性を高めるための検討も進められている。このため、船種・船型や係留方法等に応じて、風や津波に対する船舶牽引力を動的解析によらず簡単に評価できる手法が必要とされている。本論文は、これらの課題に対して、外力と係船索張力の静的釣合いに基づく簡易的な手法(以下、簡易法と称す)



図-1 係留索配置図 (風)

表-1 張力算定結果 (風速 15 m/s 時)

船型 GT(トン)	最大係留索張力 (kN)			張力比	
	①動的計算	②簡易法	③OCIMF	②/①	③/①
10,000	205	201	381	0.98	1.86
50,000	454	523	1299	1.15	2.86
100,000	558	599	1673	1.07	3.00
150,000	751	830	1828	1.11	2.43
200,000	882	1013	1943	1.15	2.20

の適用性の確認を目的とした。風に対しては、海外で広く利用される Mooring Equipment Guidelines³⁾による静的計算手法(以下、OCIMFと称す)と既往の動的解析²⁾による牽引力(張力)を対比し、簡易法の計算精度を確認した。また、津波に対しては、簡易法による計算から係留索が破断する津波の限界流速を評価した。

2. 静的釣合いに基づく手法(簡易法)の概要および検討条件

簡易法は、作用外力と各係留索張力の総和が釣合うことを前提条件とし、船舶初期配置からの変位量を設定し(図-1 参照)、係留索張力を算定する手法である。OCIMFは風向に応じて船首または船尾のクリティカル(最も破断しやすい)となる係留索を選定し、その係留索の張力と作用外力の釣合い式から係留索張力を算定する手法である。風を対象とした場合の検討条件は既往文献²⁾より設定した。対象船舶は貨物船の1万GT~20万GTの5船型、船舶・係留索配置(8本)と設定した(図-1)。なお、係留索はナイロンエイトロープ(破断時の最大伸び率51%)とし、張力と伸び率の関係は非線形性を考慮したものとした。風速は5 m/s, 10 m/s, 15 m/s, 20 m/sの4ケースを設定し、風向は船首尾方向に対して直角とした。津波の場合の検討条件は4.で述べる。

3. 風に対する簡易法・OCIMF・動的計算による最大牽引力の比較

表-1に各手法による風速15 m/s時の最大牽引力および動的計算に対する張力比を示す。最大張力は各手法においてプレストライン2で生じているため、作用外力に対してクリティカルとなる係留索は同じである。②簡易法と①動的計算を比較すると、どの船型であっても両者の最大張力は概ね一致していた。両者の最大張力の比(②/①)は0.98~1.15であり、最大張力については簡易法によって一定精度で動的計算による最大牽引力を推定可能であることが分かった。ただし、一般的には動的計算の方が牽引力は大きくなると考えられるが、必ずしもそのような結果となっていないため、この点についてはさらに検討が必要である。

次に、③OCIMFと①動的計算を比較すると、OCIMFは動的計算の2~3倍程度大きい値(③/①)となり、非常に安全側の評価となっていた。これは、動的計算および簡易法では作用外力を複数の係留索で分担するのに対して、OCIMFではクリティカルとなる係留索のみで分担するとしているためである。したがって、OCIMFの適用に際しては、この点を十分考慮に入れる必要がある。

キーワード 係留船舶, 牽引力, 静的計算, OCIMF, 動的計算

連絡先 〒141-0031 東京都品川区西五反田 8-3-6 株式会社日本港湾コンサルタント TEL: 03-5434-5671

図-2に、船型10万GTの場合における、簡易法および動的計算による風速別の各係留索の最大張力の関係を示す。図より、風速が15 m/s および20 m/s の場合は、最大張力(図中の各凡例△,×の最も上方に位置する点)に限れば、両者は概ね一致するが、それより風速が小さくなると両者の最大値の乖離は大きくなる傾向にある。また、係留索別にみると、最大張力となるブレストラインの張力は動的計算と概ね一致するものの、ヘッド・スターンライン及びスプリングラインの最大張力は動的解析の方が大きい値であった。これは、動的計算では船体が6自由度で運動し、その運動に合わせて各係留索に荷重分担がなされるためであると推察される。

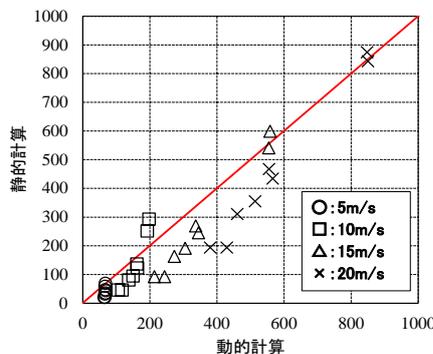


図-2 係留索張力 (10万GT)

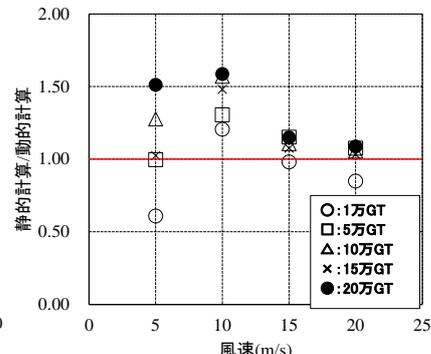


図-3 風速別の張力比

図-3に、全船型における簡易法と動的計算による最大張力比を風速別に整理した結果を示す。風速15 m/s以上では張力比は概ね1.0近くに収束する傾向にあり、推定誤差に注意は必要であるが簡易法の適用が可能であると考えられる。一方、風速が10 m/s以下の場合、両者の乖離は大きいため、簡易法の適用には問題がある。この乖離の原因について、今後さらに検討する必要がある。

4. 簡易法による津波に対する限界流速の評価

図-4に、津波を対象とした簡易法による静的計算の考え方を示すが、基本的には2.で述べた手法と同じである。対象船舶はコンテナ船(0.9万GT~14.5万GTの4船型)と設定し、係留索(12本)は同じ配置であるが、長さや角度は船型により異なる。本検討では、船舶側面から津波が来襲する場合(直交流)と船舶の船首方向から来襲する場合(並行流)において、係留索が破断荷重に達する限界流速を算定した。並行流の場合、船首から船尾方向の流向を考慮して、係留索A, B, D(合計6本)が負担するものとし、本数を変化させて限界流速を算定した。直交流の場合は全係留索が負担するものとした。図-5の計算結果を見ると、並行流の場合は、全船型において、係留索A, B, Dが負担する場合の限界流速は約10~15 m/sであり、係留索2本(A 2本, B 2本, D 2本のいずれか)と少なくなるにつれて限界流速が減少し、係留索1本(A, B, Dのいずれか)のみが負担する場合は約5.0~8.0 m/sであった。この結果は既往文献による静的計算の評価手法と概ね一致した⁴⁾。一方、直交流の限界流速は0.5~0.7 m/sとなり、並行流に比べて非常に小さい流速で限界に達する。これは、突堤状の栈橋など、船舶側面からの津波が岸壁をすり抜ける構造の場合は、津波に対する船舶の係留避泊の安全性確保は非常に難しいことを示唆している。



図-4 係留索配置図 (津波)

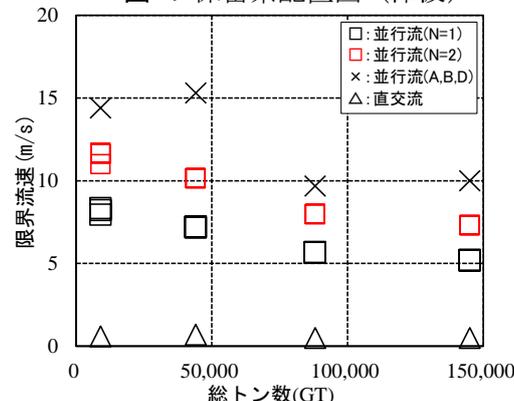


図-5 限界流速算定結果

5. おわりに

本論文では、風を受ける船舶からの最大牽引力の評価に関して、外力と係留索張力の静的釣合いに基づく手法(簡易法)と動的計算²⁾による結果を対比し、風速15 m/s以上であれば簡易法の推定誤差を考慮する必要はあるが、簡易法の適用可能性は高いことを示した。静的釣合いに基づくOCIMFは安全側の評価を与えることも示した。また、簡易法を津波に対して適用し、係留索が破断する津波限界流速を評価し、船舶が側面より津波を受ける場合は限界流速が0.5~0.7 m/sと小さくなり、係留避泊の上で注意が必要であることを示した。

参考文献 1) 公社)日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2018. 2)米山治男: 係留柱に作用する船舶の牽引力に関する検討: 港湾空港技術研究所資料 No.1341, 2018. 3)OCIMF, Mooring Equipment Guidelines(MEG4), 2018, 日本タンカー協会係留設備に関する指針(日本語翻訳版): 1997. 4)河田ら: 津波による船舶被害の評価手法の提案, 海岸工学論文集, 第51巻, 2004.