

第5 シミュレーション計算結果と錨泊限界

シミュレーション計算結果とアンケートによる錨泊実態とを比較し、錨泊限界について検証する。シミュレーション計算においては、水深 14m(小型船の錨泊時の平均水深)で、波長 20~100m までを 20m ごとに計算しているが、ここでは、水深 14m での波浪の周期を 5 秒、波長を 60m (波長が短いほど波の影響が大きくなる) と仮定し、また、水深 14m では、3D+90m での錨鎖長が 5.3 節、4D+145m で 8 節となるので、シミュレーション計算結果のうち、波長 60m 及び錨鎖長 6 節と 8 節について、アンケート結果 (水深 14m±4m で錨泊していた同型船) と比較してみる。

なお、シミュレーション計算においては、0 から 6 ノット(半速力前進相当の推力)までの計算が行われているので、6 ノットの推力を与えても走錨する風速と波高の条件を錨泊限界として取り扱う。

1 499 トン型一般貨物船の単錨泊

単錨泊で錨鎖 6~8 節のとき、風速 20m/s で波高 3m, 30m/s で 2m が錨泊限界

499 トン型一般貨物船の単錨泊では、風速 20m/s で波高 3m 又は 30m/s で 2m 以上の場合、機関を使用しても、錨鎖 6 節でも 8 節でも走錨し、また、20m/s で 2m の場合は、5 ノットの推力を与えることで、走錨を防止できるという結果が得られた。

表 27 499t 型一般貨物船の単錨泊 (6 節) 計算結果

	風速20m/s						30m/s						40m/s							
	プロペラ回転数(ノット相当)						プロペラ回転数(ノット相当)						プロペラ回転数(ノット相当)							
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5
波高2.0m						非走錨														
3.0m	走錨						走錨						走錨							
4.0m	走錨						走錨						走錨							

表 28 499t 型一般貨物船の単錨泊 (8 節) 計算結果

	風速20m/s						30m/s						40m/s							
	プロペラ回転数(ノット相当)						プロペラ回転数(ノット相当)						プロペラ回転数(ノット相当)							
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5
波高2.0m						非走錨														
3.0m	走錨						走錨						走錨							
4.0m	走錨						走錨						走錨							

表 29 単錨泊 (400~499t) のアンケート結果抜粋

アンケート (400~499 トン) によると、風速 20~22m/s で錨鎖 6~8 節を使用し、機関不使用の 3 隻 (表 29①~③) では、波高 4m で 1 隻 (②) が走錨したのに対し、波高 1m で 2 隻 (①③) が走錨していないことから、風速 20m/s で

番号	総トン数	水深(m)	使用錨鎖(節)	機関	風速(m/s)	波高(m)	走錨	合致
①	451	15	6	不使用	20	1	非走錨	○
②	497	10	6	不使用	20	4	走錨	○
③	498	12	8	不使用	22	1	非走錨	○
④	498	10	6	不使用	28	0.5	非走錨	○
⑤	499	18	6	不使用	28	4	非走錨	×
⑥	498	11	6	使用	28	5	走錨	○
⑦	498	16	6	不使用	30	1.5	非走錨	○
⑧	498	13	6	不使用	30	3	非走錨	×
⑨	499	12	8	不使用	32	0.8	非走錨	○
⑩	499	15	8	不使用	32	2	走錨	○

の計算結果とほぼ合致する。

次に、風速 28~32m/s で 6~8 節を使用していた 7 隻 (④~⑩) のうち、1 隻 (⑥) が機関使用と波高 5m で走錨している。また、2m 未満の 3 隻 (④⑦⑨) は走錨していないが、2m 以上の 4 隻 (⑤⑥⑧⑩) のうち、2 隻 (⑥⑩) が 2m と 5m で走錨している。

2 499 トン型一般貨物船の双錨泊

双錨泊で両舷 6~8 節のとき、風速 20m/s で波高 4m、30m/s で 3m が錨泊限界

499 トン型一般貨物船の双錨泊では、両舷 6 節の場合、風速 20m/s で波高 2m までは、機関を使用しなくても走錨せず、波高 3m で 6 ノットの推力を与えれば走錨を防止できる。また、30m/s で 2m までは 4 ノットの推力で走錨を防止できるが、30m/s で 3m 又は 40m/s になると、機関を使用しても走錨することから、錨泊限界とすることができる。

表 30 499t 型一般貨物船の双錨泊(両舷 6 節)計算結果

	風速20m/s							30m/s							40m/s							
	プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)							
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	
波高2.0m	非走錨							非走錨						走錨								
3.0m	走錨							走錨							走錨							
4.0m	走錨								走錨							走錨						

両舷 8 節の場合は、風速 20m/s で波高 3m では 5 ノットの推力を、30m/s で 2m では 3 ノットの推力を与えれば、いずれも走錨を防止できるが、風速 40m/s となれば、機関を使用しても走錨するという結果が得られた。

表 31 499t 型一般貨物船の双錨泊(両舷 8 節)計算結果

	風速20m/s							30m/s							40m/s							
	プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)							
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	
波高2.0m	非走錨							非走錨						走錨								
3.0m	走錨							走錨							走錨							
4.0m	走錨								走錨							走錨						

アンケート (400~499 トン) によると、風速 30m/s で両舷 6 節使用の 6 隻 (表 32①~⑥) のうち、波高 2m 未満で機関不使用の 2 隻 (①②) は走錨していないが、2m 以上では、4 隻 (③~⑥) のうち、機関使用及び機関不使用の各 1 隻 (④⑥) が 3m で走錨している。

表 32 双錨泊 (400~499t) のアンケート結果抜粋

番号	総トン数	水深(m)	使用錨鎖(節)	機関	風速(m/s)	波高(m)	走錨	合致
①	499	16	6	不使用	30	1	非走錨	○
②	499	14	6	不使用	30	1.5	非走錨	○
③	499	18	6	不使用	30	3	非走錨	×
④	419	17	6	使用	30	3	走錨	○
⑤	432	13	6	不使用	30	3	非走錨	×
⑥	499	15	6	不使用	30	3	走錨	○

3 749 トン型油タンカーの単錨泊

単錨泊で錨鎖 6～8 節のとき、風速 20～30m/s で波高 3m が錨泊限界

749 トン型油タンカーの単錨泊では、風速 20～30m/s で波高 3m 以上の場合、機関を使用しても、錨鎖 6 節でも 8 節でも走錨するが、20～30m/s で 2m までであれば、4～5 ノットの推力で走錨を防止できるという結果が得られた。また、40m/s で 2m 以上では、機関を使用しても走錨し、錨泊限界と言うことができる。

表 33 749t 型油タンカーの単錨泊(6 節)計算結果

	風速20m/s							30m/s							40m/s						
	プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)						
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
波高2.0m	走錨						非走錨	走錨						非走錨	走錨						
3.0m																					
4.0m																					

表 34 749t 型油タンカーの単錨泊(8 節)計算結果

	風速20m/s							30m/s							40m/s						
	プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)						
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
波高2.0m	走錨						非走錨	走錨						非走錨	走錨						
3.0m																					
4.0m																					

アンケート (600～799 トン) によると、風速 15m/s と 25m/s で錨鎖 6 節使用の 2 隻 (表 35 ①②) は、いずれも機関不使用と波高 1m 以下で走錨していないことから、風速 20m/s における計算結果とほぼ合致する。

次に、30m/s で 6 又は 8 節使用していた 3 隻 (③～⑤) のうち、2 隻が機関を使用し、1 隻 (③) が波高 2m で走錨せず、他の 1 隻 (⑤) は 5m で走錨していて合致するが、機関を使用しなかった 1 隻 (④) は、3m で走錨しておらず、合致していない。

表 35 単錨泊 (600～799t) のアンケート結果抜粋

番号	総トン数	水深(m)	使用錨鎖(節)	機関	風速(m/s)	波高(m)	走錨	合致
①	695	13	6	不使用	15	1	非走錨	○
②	749	15	6	不使用	25	0.5	非走錨	○
③	697	15	6	使用	30	2	非走錨	○
④	749	14	6	不使用	30	3	非走錨	×
⑤	698	14	8	使用	30	5	走錨	○

4 749 トン型油タンカーの双錨泊

双錨泊で両舷 6 節のとき、風速 20m/s で波高 4m, 30m/s で 3m が錨泊限界
 双錨泊で両舷 8 節のとき、風速 20~40m/s で波高 4m が錨泊限界

749 トン型油タンカーの双錨泊では、両舷 6 節の場合、風速 20m/s で波高 2m までは機関不使用でも走錨せず、3m では 4 ノットの推力を、30m/s で 2m では 4 ノットの推力を与えれば走錨が防止できる。

表 36 749t 型油タンカーの双錨泊(両舷 6 節)計算結果

	風速20m/s							30m/s							40m/s								
	プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)								
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6		
波高2.0m	非走錨						走錨						非走錨					走錨					
3.0m	走錨						走錨						走錨										
4.0m	走錨						走錨						走錨										

両舷 8 節の場合は、風速 20m/s で波高 3m と 30~40m/s で 2m までは、いずれも機関不使用でも走錨しない。

また、風速 30m/s で波高 3m では、4 ノットの推力を、40m/s で 3m では、6 ノットの推力を与えればいずれも走錨が防止できるが、20~40m/s で 4m では、機関を使用しても走錨しており、錨泊限界とすることができる。

表 37 749t 型油タンカーの双錨泊(両舷 8 節)計算結果

	風速20m/s							30m/s							40m/s									
	プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)									
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6			
波高2.0m	非走錨							走錨						非走錨					走錨					
3.0m	非走錨							走錨						走錨										
4.0m	走錨							走錨						走錨										

アンケート (600~799 トン) によると、風速 18~20m/s で両舷 6 節使用の 2 隻 (表 38 ①②) のうち、波高 2m 未満で機関不使用の 1 隻 (①) は走錨していないが、2m 以上で機関使用の 1 隻 (②) が走錨している。

また、風速 28~30m/s で両舷 6 又は 8 節使用の 6 隻 (③~⑧) のうち、4 隻 (③~⑥) が波高 2.5m 以下で、2 隻 (⑦⑧) が 3m 以上で、いずれも走錨していなかった。

表 38 双錨泊 (600~799t) のアンケート結果抜粋

番号	総トン数	水深(m)	使用錨鎖(節)	機関	風速(m/s)	波高(m)	走錨	合致
①	699	13	6	不使用	18	1.5	非走錨	○
②	695	17	6	使用	20	4	走錨	○
③	749	13	6	不使用	28	1.5	非走錨	○
④	698	12	6	不使用	30	1.5	非走錨	○
⑤	749	15	8	不使用	30	1.5	非走錨	○
⑥	699	18	6	不使用	30	2.5	非走錨	×
⑦	749	12	6	不使用	30	3	非走錨	×
⑧	695	17	6	不使用	30	4	非走錨	×

5 694 トン型カーフェリーの単錨泊

単錨泊で錨鎖 6~8 節のとき、風速 20m/s で波高 4m が錨泊限界
 単錨泊で風速 30m/s 以上では、波高 2m でも錨泊限界

694 トン型カーフェリーの単錨泊では、錨鎖 6 節の場合、風速 20m/s で波高 2m では、5 ノットの推力を、3m では 6 ノットの推力を与えれば走錨を防止できるが、20m/s でも 4m では機関を使用しても走錨し、また、30m/s では錨泊限界となっている。

表 39 694t 型カーフェリーの単錨泊(6 節)計算結果

	風速20m/s							30m/s							40m/s						
	プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)						
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
波高2.0m	走錨						非走錨	走錨							走錨						
3.0m																					
4.0m																					

錨鎖 8 節の場合、風速 20m/s では、波高 2m で 4 ノットの推力を、3m で 6 ノットの推力を与えれば走錨を防止できるが、30m/s では錨泊限界となっている。

表 40 694t 型カーフェリーの単錨泊(8 節)計算結果

	風速20m/s							30m/s							40m/s						
	プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)						
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
波高2.0m	走錨						非走錨	走錨							走錨						
3.0m																					
4.0m																					

アンケート (600~999 トン) によると、風速 23m/s で錨鎖 6 節使用の 1 隻 (表 41①) は、機関不使用と波高 1.5m で走錨していないことから、風速 20m/s における計算結果とほぼ合致する。

表 41 単錨泊 (600~999t) のアンケート結果抜粋

番号	総トン数	水深(m)	使用錨鎖(節)	機関	風速(m/s)	波高(m)	走錨	合致
①	699	11	6	不使用	23	1.5	非走錨	○
②	965	15	6	不使用	25	1.5	走錨	×
③	993	13	8	使用	25	2	走錨	○
④	993	12	8	使用	28	2.5	走錨	○

次に、風速 25~28m/s で 6 又は 8 節使用の 3 隻 (②~④) のうち、2 隻 (③④) は風速 30m/s の計算結果と合致している。

6 694 トン型カーフェリーの双錨泊

双錨泊で両舷 6~8 節のとき、風速 30m/s で波高 4m と風速 40m/s が錨泊限界

694 トン型カーフェリーの双錨泊では、両舷 6 節の場合、風速 20m/s で波高 3m までであれば、機関不使用でも走錨せず、4m では 3 ノットの推力で走錨しない。また、30m/s で 2m では 3 ノットの推力で、3m では 6 ノットの推力を与えれば走錨しない。

表 42 694t 型カーフェリーの双錨泊(両舷 6 節)計算結果

	風速20m/s							30m/s							40m/s									
	プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)									
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6			
波高2.0m	非走錨						非走錨						非走錨						走錨					
3.0m																								
4.0m							走錨																	

両舷 8 節の場合は、風速 20m/s で波高 4m までと 30m/s で 2m までは、機関不使用でも走錨しない。また、30m/s で 3m では、4 ノットの推力を与えれば走錨しないが、4m になれば錨泊限界となる。さらに、40m/s では、機関を使用しても 2m で走錨するという結果が得られた。

表 43 694t 型カーフェリーの双錨泊(両舷 8 節)計算結果

	風速20m/s							30m/s							40m/s						
	プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)							プロペラ回転数(ノット相当)						
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
波高2.0m	非走錨						非走錨						走錨								
3.0m																					
4.0m							走錨														

アンケート (600~999 トン) によると、風速 30m/s で両舷 6 節使用の 3 隻 (表 44①~③) のうち、波高 2m 未満で機関不使用の 1 隻 (①) が走錨していないが、2m 以上で機関使用の 1 隻 (②) が走錨し、機関不使用の 1 隻 (③) が走錨していない。

表 44 双錨泊 (600~999t) のアンケート結果抜粋

番号	総トン数	水深(m)	使用錨鎖(節)	機関	風速(m/s)	波高(m)	走錨	合致
①	965	17	6	不使用	30	1.5	非走錨	○
②	699	16	6	使用	30	2.5	走錨	○
③	853	12	6	不使用	30	3	非走錨	×
④	942	12	8	使用	43	2	非走錨	×

また、両舷 8 節を使用し、風速 43m/s で走錨しなかった 1 隻 (④) の波高は、2m であった。

7 まとめ

単錨泊では、波高が高くなると錨鎖6節と8節で錨泊可能範囲に大きな差が出ない
→ 波漂流力の影響で錨鎖にかかる張力が大きく、錨鎖の着底部分が増加しない
→ 係駐力の増加に繋がらない

シミュレーション計算結果についてみると、単錨泊では、錨鎖長の略算式 $3D+90m$ に相当する6節から $4D+145m$ に相当する8節に錨鎖を2節伸ばしても、錨泊可能範囲(非走錨)は、6節の場合とほぼ同様の結果を示しており、錨泊可能範囲が大きくは広がらない。これは、錨鎖を長くすると、着底部分が増えてその部分の係駐力が増加することになるが、風圧力に比べて波浪による波漂流力の影響が大きく、波高が高くなるに従って錨鎖に働く張力が著しく増加するため、着底部分が少なくなり、全体として係駐力に十分な余裕が発生しないことによるものである。もちろん錨鎖を長くすることで、カテナリー長が十分に長くなって錨鎖に加わる衝撃力を緩和することができるなど、走錨防止に一定の効果があることは言うまでもない。

双錨泊では、カーフェリーでも姿勢が安定

風圧面積が広く、単錨泊では振れ回りが大きいカーフェリーも、双錨泊とすることで船体姿勢が安定し、錨泊可能範囲が大きく広がることから、最大風速時の風向に対して双錨泊として錨鎖を十分に伸ばし、可変ピッチプロペラやスラスタをフルに活用すれば、かなりの荒天を凌げるのではないかと思われる。

風に対する遮蔽があり、うねりが侵入しない底質良好な錨地であれば、
風速 $20m/s$ までなら略算式 $3D+90m$ 、 $30m/s$ までなら $4D+145m$ を
錨鎖伸出量の目安とすることができる

アンケートにおいては、シミュレーション計算条件のうち、風や波の方向、双錨泊時の錨鎖の角度、機関の使用区分などが不明のため、両者の結果を正確に比較することはできないものの、アンケートの中で類似した条件を持つ回答を抽出し、シミュレーション計算結果と走錨の有無について比較したところ、37隻中26隻(70%)がほぼ合致した。

また、アンケート結果からみた錨泊可能条件と走錨危険ライン及びシミュレーション計算結果からみた錨泊限界は、下表のとおりである。

これらを総合すると、60年以上前に旧日本海軍が錨鎖伸出量の目安としていた略算式は、現在においても、良好な錨地において単錨泊する場合には、風速が20m/sまでならば3D+90(m)を、風速30m/sまでならば4D+145(m)をそれぞれ錨鎖伸出量の目安とすることができる。

表45 シミュレーション計算とアンケート結果の比較

	499型一般貨物船		749型油タンカー		694型カーフェリー	
	単錨泊	双錨泊	単錨泊	双錨泊	単錨泊	双錨泊
	80%	66%	80%	62%	75%	50%
①	○	○	○	○	○	○
②	○	○	○	○	×	○
③	○	×	○	○	○	×
④	○	○	×	○	○	×
⑤	×	×	○	○		
⑥	○	○		×		
⑦	○			×		
⑧	×			×		
⑨	○					
⑩	○					

○は合致 ×は非合致

表46 アンケート結果とシミュレーション計算結果の対比

錨泊方法	船型	アンケート結果				シミュレーション計算結果						
		錨鎖長からみた錨泊可能条件				走錨時の風速と波高からみた走錨危険ライン(機関使用)						
		船種	錨鎖	風速	波高	船種	風速	波高	船型別にみた錨泊限界(機関使用)			
単錨泊	フェリー等	フェリー等	3D+90長	20m/s	1m	フェリー等	25m/s	2.5m	694型カーフェリー	6~8節	20m/s	4m
			4D+145長	25m/s	2.5m							
			3D+90長	20m/s	2m				3D+90 → 6節			
			4D+145長	25m/s	2.5m				4D+145 → 8節			
	大型	フェリー等	3D+90長	20m/s	2m	フェリー等	30m/s	3m	694型カーフェリー	6~8節	30m/s	4m
			4D+145長	25m/s	2.5m							
双錨泊	フェリー等	フェリー等	3D+90長	20m/s	2m	フェリー等	35m/s	3.5m	694型カーフェリー	6~8節	40m/s	2m
			約4D+145	30m/s	2m							
			3D+90長	20m/s	2m				3D+90 → 6節			
			約4D+145	30m/s	2m				4D+145 → 8節			
	大型	フェリー等	3D+90長	20m/s	2m	フェリー等	35m/s	3.5m	694型カーフェリー	6~8節	30m/s	4m
			約4D+145	30m/s	2m							
単錨泊	内航船	内航船	3D+90長	20m/s	1.5m	内航船	25m/s	2.5m	499型一般貨物船	6~8節	20m/s	3m
			4D+145長	30m/s	2m							
			3D+90長	20m/s	1.5m				749型油タンカー	6~8節	20m/s	3m
			4D+145長	30m/s	2m							
	大型	内航船	3D+90長	20m/s	1.5m	内航船	30m/s	3m	3D+90 → 6節			
			4D+145長	30m/s	2m				4D+145 → 8節			
双錨泊	内航船	内航船	3D+90長	20m/s	2m	内航船	30m/s	3m	499型一般貨物船	6~8節	30m/s	3m
			約4D+145	30m/s	2m							
			3D+90長	20m/s	2m							
			約4D+145	30m/s	2m				749型油タンカー	6節	20m/s	4m
	大型	内航船	3D+90長	20m/s	2m	内航船	30m/s	3m		6節	30m/s	3m
			約4D+145	30m/s	2m					8節	20m/s	4m
										40m/s		
								3D+90 → 6節				
								4D+145 → 8節				