

騒音最適化船(6500kL 積みタンカー)の設計調査 (概要版)

1. はじめに

2012年11月の国際海事機関(IMO)第91回海上安全委員会(MSC91)において、船内騒音コードの改正案及び同コードを強制化する海上人命安全条約(SOLAS条約)の改正案が採択された。現在、国内の造船所では騒音コードに適合させるための設計の見直しを行っている。内航船のなかでは、6,500kL 積みタンカーの占める割合は大きく、また、騒音規制に適合させることが困難だといわれている。本調査では、内航 6,500kL 積みタンカーを対象に、騒音最適化の設計検討を行った。

騒音最適化の検討にあたっては、①船体構造の改良による観点から、及び、②騒音対策品の施工による観点からの2段階に分けて行った。これら騒音最適化の検討は、SEA法による騒音予測計算と最適化計算手法を組み合わせで行った。実船モデルを対象としたSEA騒音解析には長時間を要することから、先行して簡易モデルを対象に、最適化の手法を検討した。検討手法を確立したうえで実船モデルを対象とした最適化の検討を行った。

最適化の検討結果を踏まえ、騒音最適化されたモデル船の図面を作成した。

2. 船体構造の改良による騒音最適化

船体構造の改良にあたって、騒音低減に寄与し、かつ、現実的に設計変更可能な設計パラメータを設定した。ここでは重量を制約条件として最適化計算を行った。

最適化にあたっては、「騒音規制値に対して余裕の最も少ない部屋の騒音レベルを最良化する」思想に基づき行った。最適化計算を行うための実験計画法による計算条件の設定は、D 最適基準実験計画法により求めた。

追加重量の制約値を10トンとした。この値は、造船所の経験上から判断した。船体構造の最適な改良は、表1に示すように、居住区デッキ高さを0.1m高く、居住区デッキ板厚及び機関室ケーシング板厚を2mm厚く、居住区の内壁は減らす、その他パラメータは現行の設計通りとする結果となった。

表1 最適解での設計パラメータ

パラメータ	現行値	最適値
居住区デッキ高さ (h)	2.55 m	2.65 m (↑)
居住区外壁板厚 (tO)	6 mm	6 mm
居住区内壁板厚 (tI)	6 mm	6 mm
居住区デッキ板厚 (tD)	6 mm	8 mm (↑)
機関室ケーシング板厚 (tE)	6 mm	8 mm (↑)
居住区内壁の変更 (fI)	現状	減らす(↓)
C デッキ暴露甲板 (fD)	現状	現状

また、予測計算結果を確率分布とみなして全部屋が合格する確率（ここでは確信度という）を評価関数に騒音最適化の検討を行った。ここでは、**図 1**に示すように、上部構造物重量増分(dM)と確信度の傾き（確信度/dM）に着目し、最適な設計パラメータの組み合わせについて考察した。**表 2**は、上部構造物重量増分を変更したときの最適な設計パラメータの組み合わせとその時の確信度を示す。**図 1**、**表 2**より、居住区デッキ高さ(h)は設計効率が最もよく（傾きが大きく）、設計可能領域内での重量増分変化が小さいことがわかった。最適解では居住区デッキ高さ(h)が最優先にあげるとの結果に一致する。

「規制値に対して最も余裕のない部屋を改善する」評価関数で得られた結論と確信度を評価関数とする最適化の結論がここでは一致した。両者は異なる評価関数であるが、確信度を大きく上げるためには、最も成績の悪い部屋を改善するとの見解がえられた。

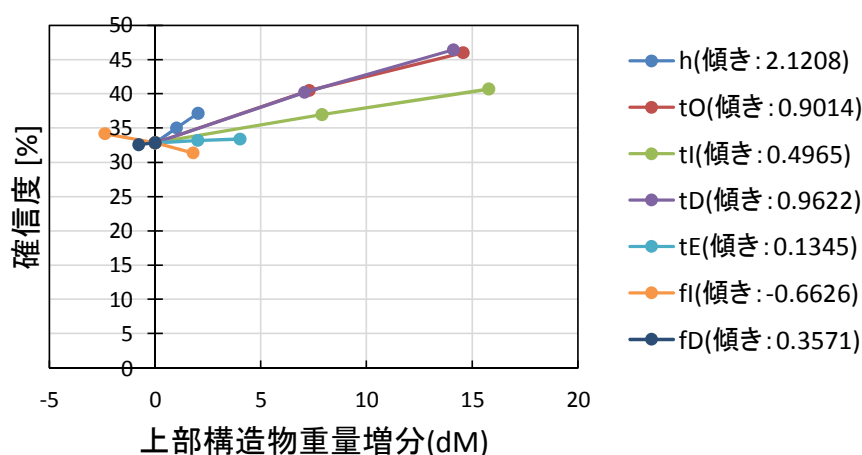


図 1 上部構造物重量増分と確信度

表 2 上部構造物重量増分に対する最適な設計パラメータ組み合わせと確信度

dM規制値 [ton]	水準値							dM [ton]	確信度
	h	tO	tl	tD	tE	fl	fD		
0	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-0.5	0.38
10	1	-1	-1	0	0	-1	-1	8.7	0.47
20	0	0	-1	1	-1	-1	1	19.3	0.57
30	1	1	-1	1	-1	-1	-1	28.8	0.65
40	1	1	0	1	0	-1	-1	38.2	0.68
制限なし	1	1	1	1	1	-1	-1	47.7	0.70

3. 騒音対策品による騒音最適化

騒音対策品の施工による騒音最適化を、騒音対策品のコストの観点から最適な組み合わせを求めた。ここでは、騒音対策品として多く利用される①発電機防振ゴム、②浮床、③多孔質天井パネルを対象とする。評価関数は確信度とする。全ての組み合わせは8,192

通りとなるため、計算コストを下げることに及び、Boat Deck 居室床面の空気音遮断性能(Rw)を規則上 45 以上が必要であり、現状この要件を満足するには、浮床対策が求められるとの観点から、Boat Deck の全居室を浮床施工することを前提に計算条件を減らして最適化の検討を行った。

施工費用に対して確信度をプロットすると、施工費用のまとまりごとについていくつかのモードがあらわれた。図 2 は、前述の条件で施工費用に対する確信度のモード内代表値(モード内で最も確信度が高い値)を示している。図 2 より、モード I からモード II へは、施工費用の増加がわずかながら、確信度が大きく改善されていることがわかる。図 2 に示された 5 つのモードの特徴を整理すると、表 3 に示す施工の傾向がみられた。モード I からモード II への設計変更は、MESS ROOM に多孔質パネルを施工する対策である。施工単価が比較的安く、期待した騒音レベルの低減量を達成できる多孔質パネルが選択されたといえる。多孔質パネルは 2dB(A)程度の改善は見込まれるが、さらに大きな低減は期待できず、モデル船のようにすでに騒音規制値を満足している船舶には、最適な選択であったものと思われる。発電機防振が費用対効果の面から最適な選択との結論に達しなかったのは、モデル船での発電機の影響が小さいこと、発電機防振の単価が浮床施工や多孔質パネルの施工費用より相対的に高いことが原因と考えられる。

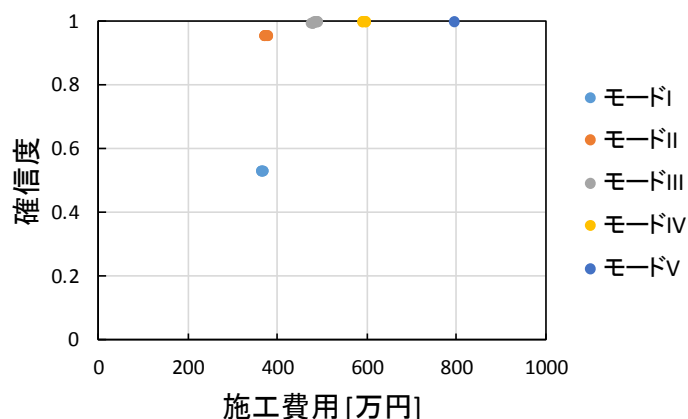


図 2 最適解における施工費用と確信度のトレードオフ関係ごとのモード定義

表 3 各モードにおける施工の傾向

モード	施工の傾向
モードI	MESS ROOMに何も施工しない
モードII:	MESS ROOMに多孔質パネルのみ施工する
モードIII:	MESS ROOMに少なくとも浮床を施工し、Cargo CONT. RMに浮床を施工しない
モードIV	MESS ROOMに少なくとも浮床を施工し、Cargo CONT. RMに浮床を施工
モードV	発電機防振を施工

4. まとめ

静音性に優れた 6,500kL 積みタンカー（モデル船）を対象に、騒音最適化の検討を行った。本船は、騒音規制適用船ではなく、騒音対策品を追加で施工した船舶ではないが、すでに騒音規制値を満足する設計となっている。そこで、今次検討では、騒音規制を確実に満足させるための追加の対策（①船体構造の改良による観点、②騒音対策品の施工による観点）を行うことを目的に、騒音予測計算と最適化計算を組み合わせた検討を行った。

① 船体構造の改良による騒音最適化の検討

船体構造の観点から重量の制約（重量増分を 10 トンとする）をもとに騒音最適設計を行った。騒音最適化にあたって考慮する設計パラメータは、騒音対策に効果が見込まれる設計パラメータである、①居住区デッキ高さ、②居住区外壁板厚、③居住区内壁板厚、④居住区デッキ板厚、⑤機関室ケーシングの板厚、⑥居住区内壁の変更、⑦C Deck 暴露甲板を居住区と分離するか否かとした。実船モデル、簡易モデルともに、現行のモデル船の寸法、配置に対して居住区デッキ高さを 100(mm)、居住区デッキ板厚を 2(mm)増す結果となった。これは、いずれの設計変更も、今回設定した重量増分の制約値の範囲内で、騒音エネルギーを低減する方向に寄与したためと考える。

上部構造物の重量増分(dM)と確信度の傾き（確信度/dM）で、最適な設計パラメータの組み合わせについて考察した。上記 7 つの設計パラメータに対して傾きを評価したところ、居住区デッキ高さが最も大きかった。最適計算においても最優先にあげられる設計効率が低いパラメータであることが分かった。

② 騒音対策品の施工による騒音最適化の検討

騒音対策品の施工による観点から、騒音対策品のコストの観点から最適な組み合わせを求めた。ここでは、騒音対策品として多く利用される①発電機防振ゴム、②浮床、③多孔質天井パネルを対象に行った。

ここでは、各部屋の騒音予測値を確率分布とみなし、すべての部屋が騒音規制値を満足する確率（ここでは、確信度という）を指標にした。施工費用をパラメータに確信度をプロットすると、施工費用のまとまりごとにいくつかのモードがあらわれた。実船モデルによる検討では、Boat Deck の全居室に浮床を施工することを前提にした計算では、5 つのモード（施工費用の安い順番にモード番号をわりふる）があらわれた。モード I からモード II へは、施工費用の追加がわずかにもかかわらず、確信度が大きく向上した。モード II からモード III へは、また、それ以外のケースも、施工費用の追加にもかかわらず、確信度の大きな改善は見当たらなかった。よって、ここでは、モード II を最適解とみなした。

③ 騒音最適化されたモデル船の図面作成

上記①、②の検討結果を踏まえ、最適化されたモデル船（騒音対策品の最適施工：モード II の設計パラメータ）の図面を作成した。