4. 船内の騒音予測とNKの取組み

船内の騒音予測と NK の取組み

1. 騒音予測法

船舶に要求された船内騒音レベルを達成するためには，設計段階において騒音予測を行い，必要な対策を決定して，確実に施工することが重要である。船内騒音の予測では，空気伝搬音と固体伝搬音の予測が必要となる。空気伝搬音は，主に音源が設置されている区画内の騒音と音源が設置された区画に隣接した区画の騒音である。音源から放射された騒音は空間内を音圧として伝搬し，壁，床，天井を透過して隣接した区画に音圧として伝搬する。固体伝搬音は，音源が設置された区画から離れた区画に伝搬する騒音であり，音源の振動（音響域周波数）が船体構造内を伝搬して，区画（受音室）の壁面，床面，天井面の振動から音圧として放射される。

1.1 空気伝搬音の予測

騒音源が設置された区画に隣接した区画の騒音は，1/1 又は 1/3 オクターブバンド毎に(1)式で予測することができる。

$$L_{pA} = L_{p0} - TL + 10\log\left(\frac{S}{A}\right) \quad [dB] \qquad (1)$$

L_{pA} : 居室内の空気伝搬音レベル[dB],
L_{p0} : 音源室の音圧レベル[dB],
S : 居室と音源室間の仕切り壁または甲板の面積[m^2],
A : 部屋の吸音力[m^2],
TL : 仕切り壁または甲板の透過損失[dB]

1.2 固体伝搬音の予測

騒音源の振動（音響域周波数）が船体構造を伝搬して，区画（受音室）の壁面，床面，天井面の振動から放射される騒音は，一般に，1/1 又は 1/3 オクターブバンド毎に(2)式から(4)式で予測することができる。これらは，オランダ TNO 応用科学研究機関の J.H. Janssen と J. Buiten が Inter-Noise 73 に提案した固体伝搬音の予測方法に示されているものである。

$$L_{ps} = 10\log\left(\sum_{i=1}^{6} 10^{L_{psi}/10}\right) \quad [dB] \qquad (2)$$

$$L_{psi} = L_v - \Delta L_{vwi} + 10\log\left(\frac{4S_i}{A}\right) + 10\log\sigma_i - IL \quad [dB] \qquad (3)$$

$$L_v = L_{v0} - TD \ \left[dB\right] \tag{4}$$

L_{ps}：居室内の固体伝搬音レベル[dB],
L_{psi}：i番目の壁から放射される音圧レベル[dB],
L_v：居室甲板の振動速度レベル[dB],
ΔL_{vwi}：甲板からi番目の壁への伝達損失[dB],
S_i：i番目の壁の面積[m^2],
A：居室の吸音力[m^2],
σ_i：i番目の壁の音響放射効率,
IL：甲板構造（浮き床など）による挿入損失[dB],
TD：振動伝達損失[dB],
L_{v0}：音源の振動速度レベル[dB]

ここで，固体伝搬音の音源の強さは，一般に，機器，機械台あるいは機器近傍の甲板の振動速度レベルが用いられる。音源の強さ（振動速度レベル）L_{v0}, 騒音源から受音室の甲板までの振動伝達損失 TD, 甲板構造による挿入損失 IL, 受音室の甲板と壁面・床面・天井面の振動のレベル差 ΔL_{vwi}, 受音室の壁面・床面・天井面の寸法（面積）S_i, 音響特性（音響放射効率）σ_i, 受音室内の音響特性（吸音力）A などの音響・振動パラメータを得ることができれば，固体伝搬音の予測が可能となる。また，音響・振動パラメータを適切に変更することによって固体伝搬音の低減を予測することが可能となる。

固体伝搬音の予測では，(2)式から(4)式に示すように騒音源から受音室の甲板までの振動伝達損失 TD, 甲板構造による挿入損失 IL, 受音室の甲板と壁面・床面・天井面の振動レベル差 ΔL_{vwi} が重要な音響・振動パラメータになっている。挿入損失 IL と振動レベル差 ΔL_{vwi} は，一般には実験や実測によってのみ求めることができる。次に，振動伝達損失 TD の推定方法について紹介する。

(1) Janssen 法

Janssen 法では，振動伝達損失 TD は実船実験データを整理して音源と居室の間のフレーム数とデッキ数で表され，(5)式で推定される。音源の振動速度レベルはタンクトップ位置の振動速度レベルを基準としており，タンクトップをデッキ番号ゼロとする。

$$TD = C_1 \cdot m + C_2 \cdot n \ \left[dB\right] \tag{5}$$

m：音源から居室までのフレームの数,
n：居室があるデッキの番号（タンクトップを n=0）

$$C_1 = \begin{cases} 0.57: \text{プロペラの場合} \\ 1.0: \text{機器の場合} \end{cases}$$

$$C_2 = \begin{cases} 2 + 12/n : n \geq 4 \\ 5 \qquad\quad : n \leq 5 \end{cases}$$

船体前後方向の振動伝達損失係数 C_1，上下方向の振動伝達損失係数 C_2は，実船での計測から求めた値である。

(2) WAVE GUIDE 法

フレーム間の板要素間を上下方向に伝搬する曲げ波のエネルギを Wave Guide 法で計算した板要素の平均振動速度レベル差から船体上下方向の振動伝達損失を求める。船体前後方向の振動伝達損失は実船計測データを整理した実験式で与える。振動伝達損失 *TD* は船体上下方向の振動伝達損失と船体前後方向の振動伝達損失から求める。

(3) SEA(Statistical Energy Analysis)法（統計的エネルギ解析法）

船体居住区構造を構造部材（板要素）と空間（空間要素）でモデル化（SEA 計算モデル）して，船体居住区内の板要素の振動エネルギと空間要素の音響エネルギの流れを連立一次方程式で定式化する。この連立一次方程式を解くことによって，各要素の振動エネルギおよび音響エネルギを求める。板要素の振動エネルギから平均振動速度，空間要素の振動エネルギから音圧を求める。

2. 騒音対策

船体は内部減衰が小さい鋼板による構造物であるため，空気伝搬音に比べて固体伝搬音は低減しにくく，予想以上に遠くまで伝搬する。従って，船舶の騒音では，固体伝搬音の占める割合が大きく，騒音対策も固体伝搬音を低減させる対策が中心となる。

船舶で騒音対策を行うには，はじめに騒音源を特定し，次に騒音源，伝搬経路，受音室の 3 つに分けて対策を考えるのが一般的である。それぞれの対策においては，空気伝搬音と固体伝搬音の両方について考慮する。空気伝搬音については，透過損失の大きな材料による遮音と吸音材による吸音，固体伝搬音については，防振材による弾性支持，制振材による振動減衰，剛性の増加による振動振幅の減少などが騒音対策の基本方針となる。

空気伝搬音については，一般に次の部屋を対象として騒音対策が検討される。

① 音源が置かれる部屋（音源室）

② 音源室に隣接（面接触）する部屋

③ 曝露部の音源（通風機等）に近い部屋

例えば上記の②で，主機等が設置される機関室を音源室として機関室取巻き型の居室の空気伝搬音対策を検討する場合は，上甲板上に設置される居室のほか，エンジンケーシングと側面で接する居室も防音対策の対象となる。

固体伝搬音については，主機を例にとると，図 1 のように主機が音源，騒音を検討する居室等が受音室であり，主機据付部から受音室が設置される甲板までの船体構造が固体伝搬音の伝搬経路となる。固体伝搬音が伝搬する船体構造としては，機関室二重底，船側外板，機関室及び居住区の隔壁，ピラー等が考えられる。ただし，実際には居室に予想外の騒音が発生し，その原因が居室近くへ設置された配管の振動や機関排気管の振動であることも少なくない。

図 2 は，居室配置が機関室取巻き型で，居室等の側面に接するエンジンケーシングに主機の排気管が支持されている例である。この場合，主機の排ガスの脈動に起因する排気管の振動がエンジンケーシングに伝搬し，この振動が居室に伝搬して思わぬ騒音が発生する

ことがある。対策としては，排気管を防振支持とすることにより，居室の騒音を大幅に低減できる可能性が考えられる。

上記のような例もあることから，騒音対策を検討する場合は，はじめに自社建造船における過去の騒音計測結果等を参照しながら騒音源となりうるものを調査し，必要に応じて振動計測を実施する等，あらかじめ対策を講じる必要がある騒音源を特定しておくことが重要である。

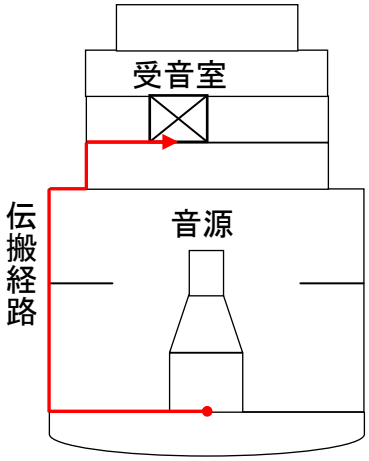


図 1　固体伝搬音の伝搬経路例

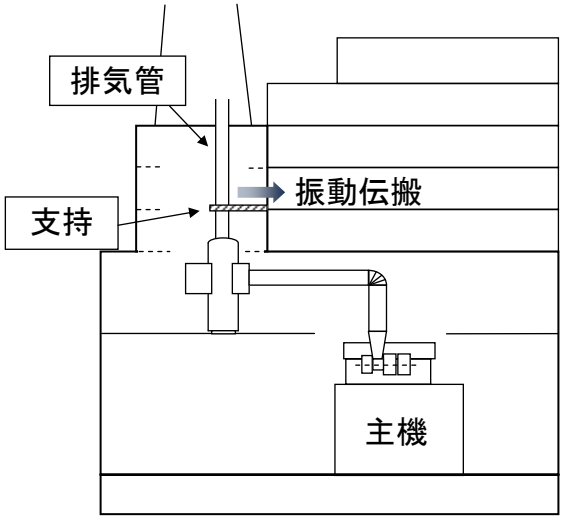


図 2　主機排気管から居室への振動伝搬

2.1　騒音源対策

騒音源対策は一般に実施が困難である場合が多いが，広範囲の居室に防音対策を行うことに比べて効率がよい。ディーゼル主機を装備した一般商船における主要な騒音源を騒音対策とともに表 1 に示す。表 1 の騒音対策のうち，機器が発生する騒音（空気伝搬音）については，機器メーカーによる低騒音型機器の開発等により概ね対応ができていると考えられる。

表 1　騒音源対策の例

騒音源	騒音対策等
① ディーゼル主機	給排気管系のラギングの強化，ブロワ入口への消音器の設置，主機の防振支持（高弾性継手を装備する場合）等
② ディーゼル発電機関	シリンダヘッド，動弁機構を囲う防音カバーの装着，共通台板の防振支持 等
③ ディーゼル機関排気管	消音器の装備（発電機関の場合），ラギングの強化，排気管の防振支持
④ 空調装置	低騒音型送風機の採用，空調機の防振支持，ダクトへの断熱吸音材の施工，ダクトの防振支持 等
⑤ 通風機	低騒音型送風機の採用，通風機の防振支持 等

固体伝搬音対策として代表的なものは，機器の防振支持であるが，主機の場合は防振支持据付により主機･軸系のアライメントが変化するため，防振支持据付が適用されるのは，フェリー，Ro-Ro 船等の船舶で減速機付きの 4 ストローク中速主機を装備する場合に限定

される。これらの船舶では，主機と減速機の間に高弾性継手を装備するので，高弾性継手によりアライメント変化を吸収できる。

発電機関の場合は共通台板を防振支持すればよいので，主機に比べれば容易に施工できるが，一般に高コストとなるため，国内建造船での採用実績は少ない。

2.2　伝搬経路対策

伝搬経路対策は，騒音が音源から受音室へ伝搬する過程において実施される。船舶では固体伝搬音の伝搬による影響が大きいため，騒音対策は固体伝搬音中心となるが，その基本的な考え方は，

・制振材，ブロッキングマスの取付けによる振動エネルギの減衰

・防振支持，弾性継手，船体の不連続構造部による振動エネルギの遮断

・構造の剛性強化による振動振幅の抑制

などである。

実際のところ，伝搬経路対策は明らかに船舶の建造コスト増となるため，一般商船でこれまで実施された例はほとんどないが，最近制振材を機関室の主機台及びその近傍に貼付して主機が発生する固体伝搬音を低減させた例について第 3 章で紹介する。

2.3　受音室対策

受音室への対策は，最も施工しやすく，実船で多用されている。受音室では，主に騒音の遮断と吸収による対策が行われる。騒音対策で使用される内装材，防音材は，SOLAS の防火構造要件も満足する必要があるので注意を要する。

(1) 内張り（天上，壁）

内張りは天上及び壁の鋼板から放射される音を遮断する効果があり，一般にカセットパネルが使用される。防音効果を向上させるため，鋼板にグラスウール，ロックウール等の吸音材を貼付して内張りとの間に適当なエアスペースを設ける場合もある。

(2) 間仕切り

間仕切りの場合は鋼板がないので，遮音性の高い材料にする必要がある。間仕切りとしては，一般にカセットパネルが使用される。遮音効果を大きくするには，面密度の大きな材料を使用する方法とパネル厚さを厚くする方法があり，パネルを二重にする場合もある。

(3) 床

船舶では機関室内にディーゼル主機や発電機関が集中して設置されるため，その直上の上甲板上に設置される部屋においては，床からの防音対策が特に重要である。遮音性を向上させるため，一般にセメント，デッキコンポジション等が施工される。また，吸音効果を向上させるため，ロックウール等を敷設する場合もある。

音源室直上の部屋などで固体伝搬音が大きな場所では，床（又は，床と壁）に制振材を施工するか，ロックウール等を用いた浮き床構造が有効と考えられる。これらの固体伝搬音対策は，これまで採用された例がほとんどないが，騒音規制が強化される状況を考えると，今後は採用するケースが増加する可能性も考えられる。

3.　NK の取り組み

NK では船内騒音に関連し、「業界要望による共同研究」として以下の共同研究を，関連業界と共同で実施してきている。

(1) 船舶居住区の騒音低減に関する実証研究（2010 年-2011 年）

(2) 簡易 SEA 法による船内騒音予測プログラムの開発（2011 年-2014 年）

(3) Janssen 法による船内騒音予測プログラムの開発（2012 年-2015 年）

(1)について、制振材を用いた騒音対策の実証的調査研究の事例を以下に紹介する。図 3 及び図 4 は, 299GT 型セメント船, 4300GT 型エチレン船及び 499GT 型タンカーにおいて, 居住区の壁（鋼板又はカセットパネル）と床に制振材（金属層 0.8mm, 制振樹脂層 0.5mm）を貼付して固体伝搬音を低減させた例である [1)]。貼付面積率は約 50%である。

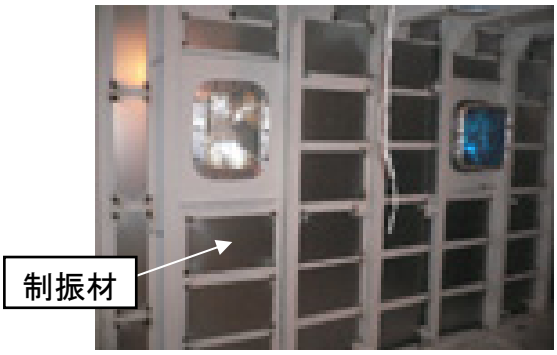


図 3　鋼壁への制振材施工例

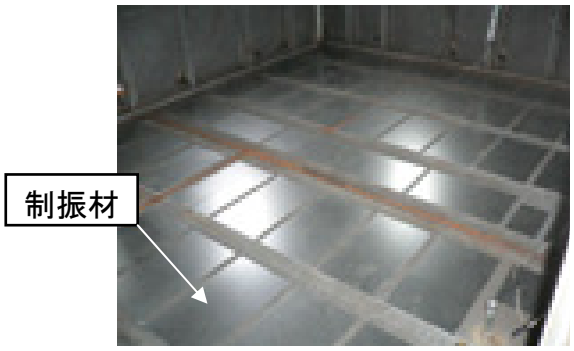


図 4　床への制振材施行例

制振材施工による効果については，騒音レベルが平均で約 70dB(A)であった居住区に対し，壁と床に制振材を適用することにより，約 3dB～5dB の騒音低減効果があることが実証された。また，図 5 は，上記の 499GT のタンカーにおいて機関室の主機台及びその近傍に制振材を貼付し，主機が発生する固体伝搬音を低減させた例である [1)]。制振材は，センターラインから片舷の範囲（制振材の使用量：9m^2）に限定して貼付されたが，居住区の各部屋で約 2dB 程度の騒音低減効果があったと報告されている。

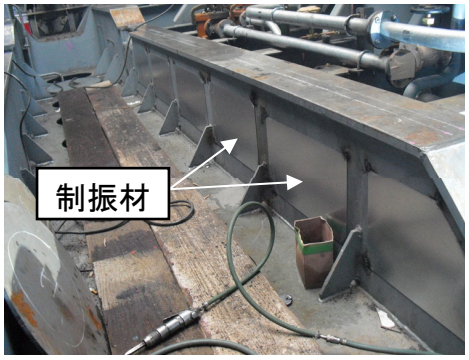


図 5　主機台ガーダーへの制振材施工例

参考文献

1)　一般財団法人 日本船舶技術研究協会：船舶居住区の騒音低減に関する実証研究報告

2)　日本海事協会会誌誌 300 号

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

2013 ClassNK 春季技術セミナー

船内の騒音予測とNKの取組み

1

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

目次

1. 騒音予測法

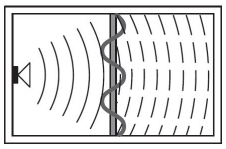
2. 騒音対策

3. NKの取組み

2

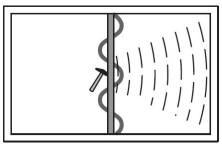
騒音予測法

騒音は空気伝搬音と固体伝搬音に分けられる



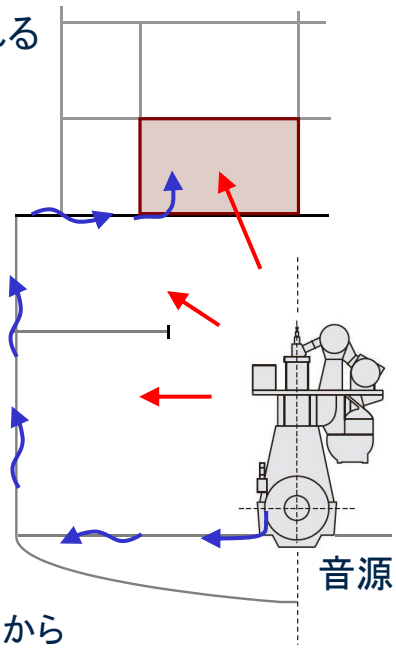
空気伝搬音

・機器から空中に放射されて区画内を伝播する音
・床や壁を透過して隣接する区画内に伝播する音



固体伝搬音

機器の振動が船体構造を伝播して居住区画又は作業区画の構造の振動となり、その振動から空気中に放射される音



3

騒音予測法

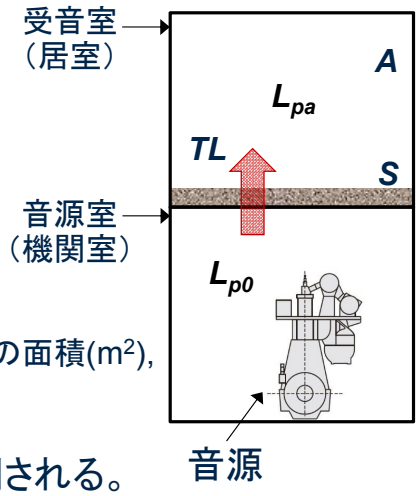
騒音予測法

空気伝搬音予測 ＋ 固体伝搬音予測

空気伝搬音予測

$$L_{pa} = L_{p0} - TL + 10\log_{10}\frac{S}{A}$$

L_{pa} ：受音室の空気伝搬音レベル(dB),
L_{p0} ：音源室の音圧レベル(dB),
TL ：仕切り壁または甲板の透過損失(dB),
S ：受音室と音源室間の仕切り壁または甲板の面積(m^2),
A ：受音室の吸音力(m^2)



実機や実構造、材料等のデータから予測される。

4

騒音予測法

固体伝搬音予測

a) L_{ps} = *function* (L_v , …)

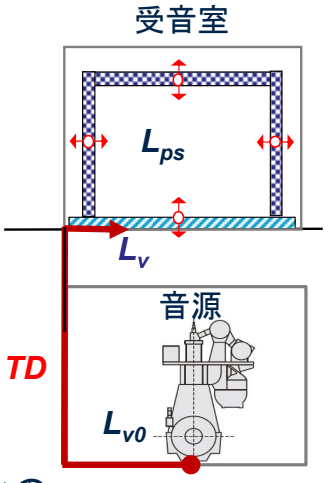
b) $L_v = L_{v0} - TD$

L_{ps} ：受音室の固体伝搬音レベル(dB),

L_v ：受音室甲板の振動速度レベル(dB),

TD ：振動伝達損失(dB),

L_{v0} ：音源の振動速度レベル(dB)



振動伝達損失は実測あるいは計算から、その他のパラメータ値は実機や実構造、材料等のデータから求められる。

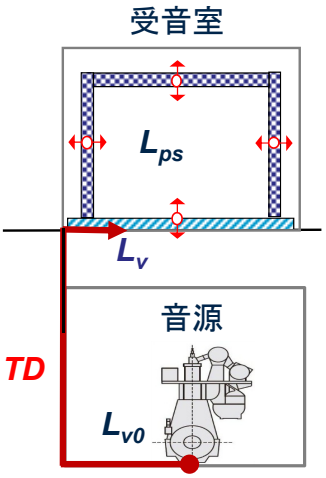
5

騒音予測法

固体伝搬音予測

TD **(振動伝達損失):**

振動伝達損失は、固体伝搬音予測法によって計算方法が異なる。



固体伝搬音予測法

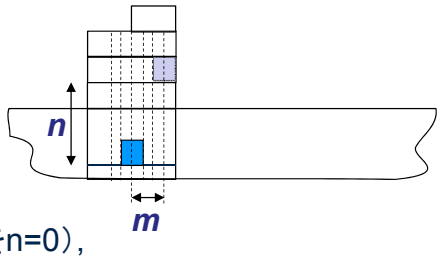
- ✓ Janssen法
- ✓ Wave Guide法
- ✓ SEA(Statistical Energy Analysis)法

6

騒音予測法

Janssen法

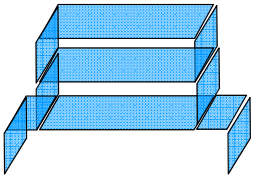
$$TD = C_1 \cdot m + C_2 \cdot n$$



m ：音源から受音室までのフレームの数,
n ：受音室があるデッキの番号（タンクトップをn=0）,
C_1 ：船体前後方向の振動伝達損失係数,
C_2 ：船体上下方向の振動伝達損失係数

Wave Guide法

$$TD = \left\{ TD^2_H + TD^2_V \right\}^{1/2}$$



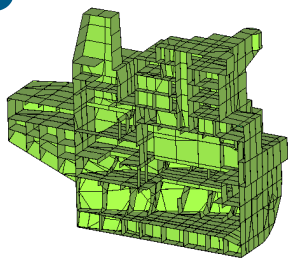
TD_H :船体前後方向（フレームに垂直）の振動伝達損失(dB),
TD_V :船体上下方向（フレームに平行）の振動伝達損失(dB)

7

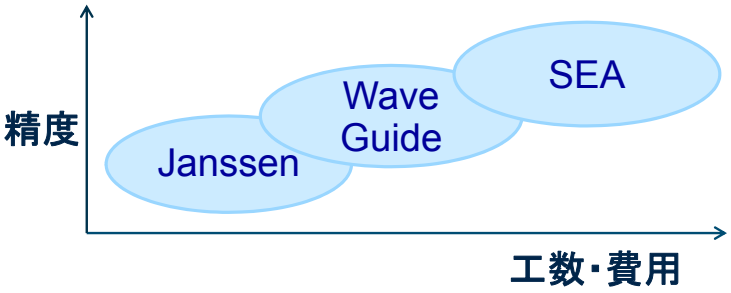
騒音予測法

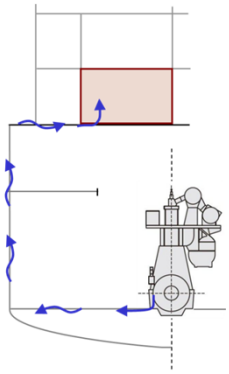
SEA (Statistical Energy Analysis) 法

振動伝達損失は3Dモデルを用いた
振動エネルギー伝搬解析から得られる。



騒音予測法の比較





8

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

目次

1. 騒音予測法

2. 騒音対策

3. NKの取組み

9

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

騒音対策

騒音源の特定

↓

騒音対策
- ✓ 騒音源
- ✓ 伝達経路
- ✓ 受音室

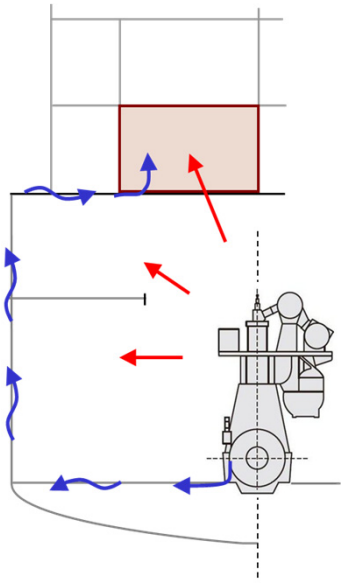
} 空気伝搬音と固体伝搬音を考慮する

↓

騒音予測

↓

実船計測



10

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

騒音対策

ディーゼル主機船の例:

騒音源	騒音対策例
1) ディーゼル主機	・給排気関係のラギングの強化 ・ブロワ入口への消音機の設置 ・防振支持（弾性継手を装備する場合）
2) ディーゼル発電機関	・防音カバーの装着 ・共通台板の防振支持
3) ディーゼル機関排気管	・消音機の装備（発電機関の場合） ・ラギングの強化 ・排気管の防振支持
4) 空調装置	・低騒音型送風機の採用 ・空調機の防振支持 ・ダクトの防振支持
5) 通風機	・低騒音型送風機の採用 ・通風機の防振支持

11

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

騒音対策

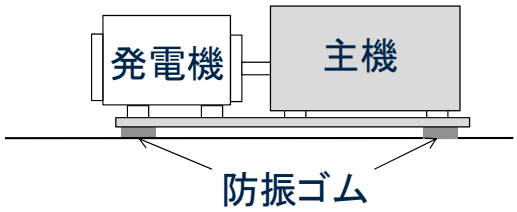
ディーゼル主機船の例:

空気伝搬音対策

機器が発生する空気伝搬音については、機器メーカーによる低騒音型機器の開発等により、対応ができていると考えられる。

固体伝搬音対策

発電機関の場合は共通台板を防振支持することで効果が期待されるが、コスト面等から採用実績は少ない。



12

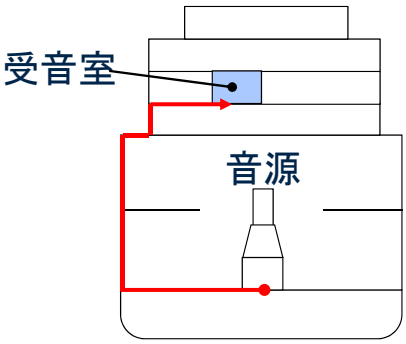
騒音対策

伝播経路対策

船舶では固体伝搬音の影響が大きいため、騒音対策は固体伝搬音中心となる。

- ✓ 制振材の取り付けによる振動エネルギーの減衰
- ✓ 防振支持、弾性継手による振動エネルギーの減衰
- ✓ 構造の剛性強化による振動振幅の抑制

伝播経路
- ✓ 二重底
- ✓ 船側外板
- ✓ 隔壁
- ✓ 甲板　等

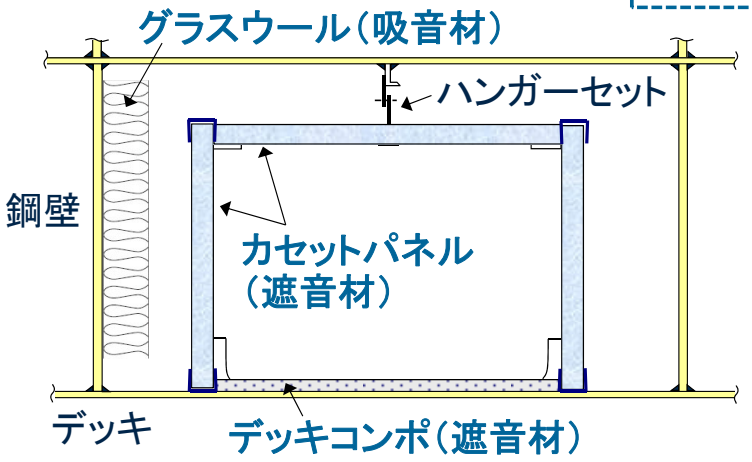


13

騒音対策

空気伝搬音対策

内装材、防音材はSOLASの防火構造要件を満足する必要がある。

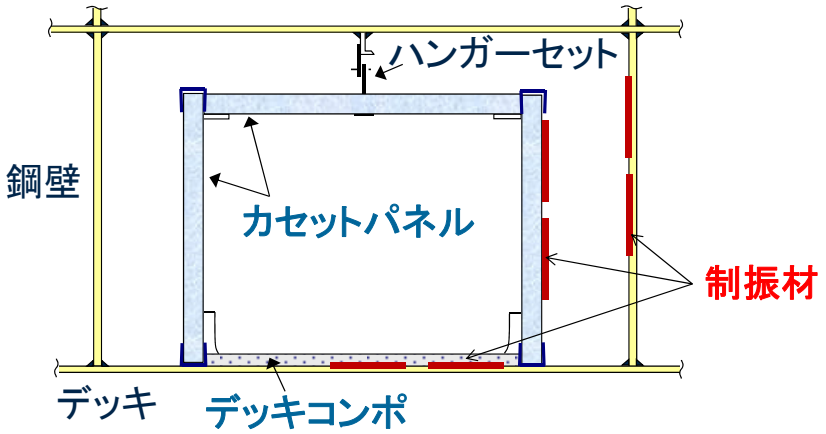


14

騒音対策

固体伝搬音対策

内装材、防音材は
SOLASの防火構造要件
を満足する必要がある。



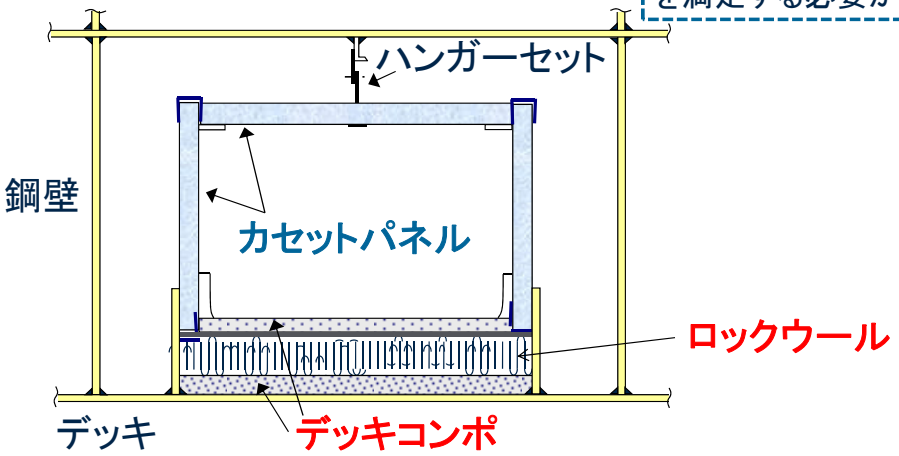
✓ 音源室直上の居室等、固体伝搬音が大きな場所では、床や壁に制振材を施工することが有効と考えられる。

15

騒音対策

固体伝搬音対策

内装材、防音材は
SOLASの防火構造要件
を満足する必要がある。



✓ 浮き床構造は、固体伝搬音の対策として有効であるが、コストや防火構造の問題などいくつかの理由で、採用された例がほとんどない。しかし，騒音規制が強化される状況を考えると，今後は採用するケースが増加する可能性がある。

16

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

目次

1. 騒音予測法

2. 騒音対策

3. NKの取組み

17

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

NKの取組み

ClassNK 共同研究

- ✓ 船舶居住区の騒音低減に関する実証研究
  (研究期間:2010-2011)
- ✓ 簡易SEA法による船内騒音予測プログラムの開発
  (研究期間: 2011-2014)
- ✓ Janssen法による船内騒音予測プログラムの開発
  (研究期間: 2012-2015)

18

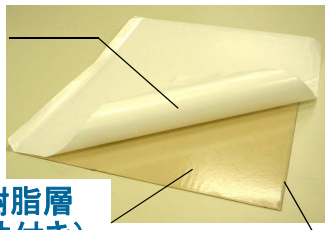
ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

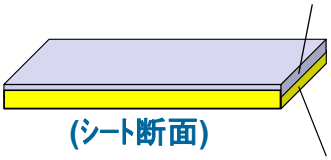
NKの取組み

✓船舶居住区の騒音低減に関する実証研究(2010-2011)
（一般財団法人　日本船舶技術研究協会 「居住区の騒音低減に関する実証研究委員会」の「船舶居住区の騒音低減に関する実証研究報告」より抜粋）

制振材の騒音低減効果を実証するために、それぞれ大きさと用途が異なる3 隻の船舶（299GT型セメント船、4,300GT型エチレン船、499GT型タンカー）に制振材を貼付して騒音の低減効果を調べる実船試験を実施した。

制振材:





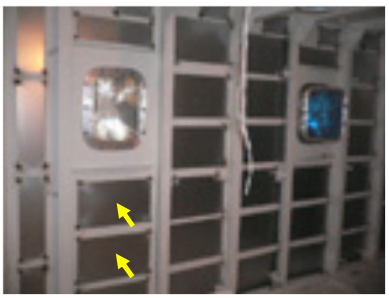
19

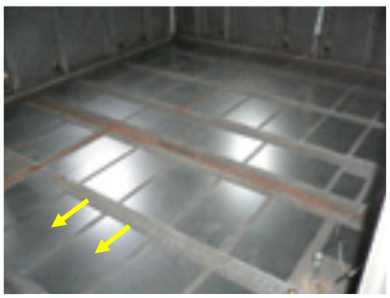
ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

NKの取組み

✓船舶居住区の騒音低減に関する実証研究(2010-2011)
（一般財団法人　日本船舶技術研究協会 「居住区の騒音低減に関する実証研究委員会」の「船舶居住区の騒音低減に関する実証研究報告」より抜粋）

実験対象船舶	制振材の貼付箇所	貼付面積率
299GT セメント船	居住区の鋼壁及び床	約50%
4,300GT エチレン船	居住区壁のカセットパネル及び床	約50%
499GT タンカー	居住区の荷役検査室の壁のカセットパネル及び床	約50%


鋼壁への施行


制振材貼り付け後の床

20

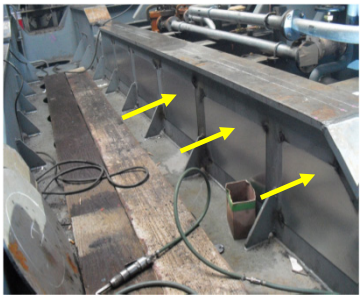
ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

NKの取組み

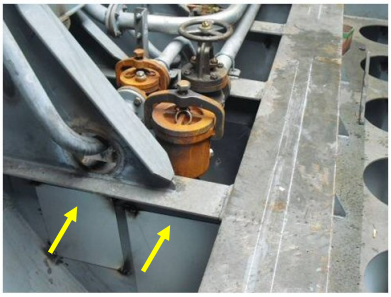
✓船舶居住区の騒音低減に関する実証研究(2010-2011)

（一般財団法人　日本船舶技術研究協会 「居住区の騒音低減に関する実証研究委員会」の「船舶居住区の騒音低減に関する実証研究報告」より抜粋）

実験対象船舶	制振材の貼付箇所	貼付面積率
499GT タンカー	機関室の主機台及びその近傍	主機台の表面積の25% Bottom Deck の床面の面積の約35% （制振材の使用量の合計9m^2）



主機台ｶﾞｰﾀﾞｰへの貼り付け



主機台横隔壁への貼り付け

21

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

NKの取組み

✓船舶居住区の騒音低減に関する実証研究(2010-2011)

（一般財団法人　日本船舶技術研究協会 「居住区の騒音低減に関する実証研究委員会」の「船舶居住区の騒音低減に関する実証研究報告」より抜粋）

騒音低減への効果

制振材の貼付箇所	面積	騒音低減効果
居住区の壁及び床	貼付面積率：約50%	3～5dB
機関室の主機台及びその近傍	制振材の使用量の合計：9m^2	2dB

➡ **制振材の騒音低減対策効果を検証**

22

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

NKの取組み

✓ 簡易SEA法による船内騒音予測プログラムの開発（共同研究）(研究期間: 2011-2014)

- 船内騒音予測プログラムの仕様検討
  ⇒ 簡易SEA法によるプログラムの開発
- 騒音計測方法の統一、標準化
- 参加メンバーの建造船の騒音レベル計測
  ⇒ 騒音対策の効果を検証
- 内装仕様、防音仕様の調査
  ⇒ プログラム用データベースの構築

23

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

NKの取組み

✓ 船内騒音対策に対する技術サービスの開発

- 船内騒音予測
- 騒音対策に対する技術サポート

24