

Ⅲ-3 S.D法による振動の
 評定法の検討

目 次

A 実験方法 108
 B 測定結果と考察 110
 C 結 論 117

A 実験方法

振動の物理量測定においては、できるだけ Draft International Itandard ISO /DIS 2631(1972)‐‐Guide for evaluation of human exposure to whole body vibretion ″に定められた方法にしたがい、他方ではS.D法によって乗組員に振動の主観的評定を求め、物理量と心理量との対応関係を求める。この結果から船体振動

の許容値に対する一つの提案をみちびくことを目的とする。表1にS.D法による評定ヶ所と測定値の基礎資料表を示すが、この表を基として物理量と心理量の関係を検討する。

今回はコンテナ船HT丸において立位、臥位で実施したが、昭和46年より日本造船研究協会SR-112部会の第4小委員会において、S.D法による振動感覚評定の実船実験を実施してきた。これらの成績にHT丸の実験結果をあわせて、この研究の一応の結論とすることを目的とした。したがって供試船は、コンテナ船3隻、鉱石運搬船2隻、練習船1隻である。

(1) 振動感覚の評点

図1に示すように振動感覚を表現する15の形容詞尺度を選んだ。船員である評定者は振動レベルの高いところから低いところまで均等に含まれるように選定された14の振動評定場所で、それぞれの場所で評定用紙によって評定す

表1 S.D法による評定場所と測定値の基礎資料表

供試船	測 定 値		評 定 場 所						
			(1)	(2)	(3)	(4)...	(14)
SW丸	物 理 量	VAL	28 ^{米1)}	26	24	29			39
		VL	22	13	14	19			21
		VL(OB)max	11	11	12	16			16
		VGL	27	24	25	30			32
	心 ^{米2)} 理 量	強さの因子 の形容詞 尺度の評点	4.1	5.0	4.4	2.9			3.2
ST丸									

米1) 上下、水平振動方向のうち最大の方向の振動を評価の対象としたが、○印は水平方向の振動を示す。ただしVGLにおいては、上下方向のVGL_Vと水平方向の(VGL_H-10)が感覚的に等価とされているので、VGL_Vと(VGL_H-10)で比較した。

米2) 因子分析の結果強さの因子負荷量の大きい「かたい-柔かい」「きつい-おだやかな」「強い-弱い」「激しい-かすかな」の形容詞尺度の評点の平均値。

る。この評定時間は1評定場所で1つの尺度に数秒以内におこない、各判断はできるだけ独立しておこなう。各評定場所において各尺度ごとに評定を集計し、評定者の人数（ここでは10～12名）で除して平均値を求めて形容詞尺度の評点とする。

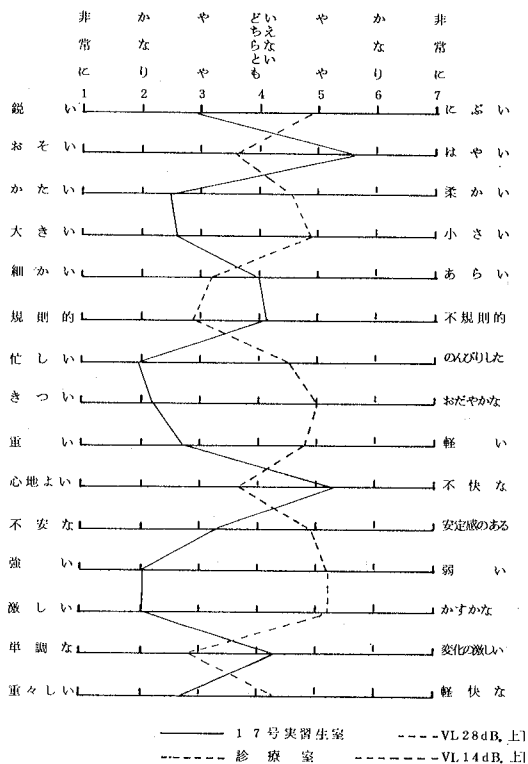


図1 振動評定用紙とプロフィールの例

(2) 振動物理量測定法

振動感覚評定時に平行して、その評定場所の床上にピックアップを直接設置して測定する。

VL, VAL は振動レベル計で測定する。さらにオクターブ、バンド、フィルタによって周波数分析をし、VAL(OB), VL(OB)max, VGL を求める。メータの時定数は1秒、読みは変動す

るRMS値の中央値とする。測定する振動方向は船体における上下方向と水平の船首尾と左げん右げんの三方向とする。

以下測定する振動物理量について述べる。

a VAL (振動加速度レベル)

I章Bを参照

b VL (振動レベル)

II章Bを参照

c VAL(B) (オクターブ、バンド振動加速度レベル)

VALをオクターブ、バンド、フィルタで分析して求める。VALの周波数スペクトルムが得られる。ISOではこのスペクトルムにより評価することになっている。

d VL(OB)max (最大オクターブ、バンド振動レベル)

VL(OB)はVLをオクターブ、バンド、フィルタで分析して求め、その最大のものをVL(OB)maxとする。感覚に最も影響しているところの周波数域を知ることができる。近似的には各バンドのVAL(OB)とVL(OB)の周波数レスポンスの差より計算することができる。

ISOではVALの周波数スペクトルムにより評価することになっているが、VL(OB)maxはISOの評価法の対象とする物理量である。

例えば上下方向の振動においてISOの8時間暴露の「快感減退境界線」は4～8Hzの平坦部で20dBを示す等感度線であり、「疲労作業能力減退線」は30dBの等感度線である。

測定されたVAL(OB)の評価をするとき、どのVAL(OB)が最大の等感度線に位置するかを知ることにより判断されるが、この等感度線を4～8Hzの平坦部で示すdB値によって表わして評価すると比較に便利である。このdB

値がVL(OB)max に相当する。

e VGL (振動大きさのレベル)

VGLは音でいうS.S.Stevensの提案によるラウドネスレベル(Phon)に相当するものであり、三輪氏の提案による人体加振用動電型振動台により、オクターブ・バンド・ランダム振動を与えて実験的に求めた大きさのレベルである。

注) 三輪俊輔, 「複合正弦振動とランダム振動の評価法」, 日本音響学会誌, VOL. 27 No.1, 1971

B 測定結果と考察

(1) 形容詞尺度間の因子分析結果

図1に示す15ケの形容詞尺度を用いた場合には、1個の刺激(例えば診療室のVL14dB上下振動)に対して15ケの数値が得られる。

それらがそれぞれ独立に変化するものであれば、14次元の空間の一点として各刺激が表わされる。しかしプロファイルの個々の凸凹を問題としたのでは、プロファイルとして表わす意味もない。実際にはこの各尺度間にはかなりの関連が認められる。このような関連を形容詞尺

表2 Semantic Differential の因子分析結果

供 試 船 因 子	S W 丸			S T 丸				K M 丸 (往)			K M 丸(復)	
	I	II	III	I	II	III	IV	I	II	III	I	II
鋭 い—に ぶ い	.747	.206	.223	.696	.011	.027	-.051	.800	.103	.060	.859	.027
おそい—は や い	-.650	.004	.010	-.476	.043	.103	.022	-.640	-.121	-.046	-.476	-.562
*1)かたい—柔 か い	.831	.102	.140	.815	-.096	-.060	-.016	.760	.220	.053	.841	-.042
大きい—小 さ い	.902	-.007	.091	.620	-.112	-.012	.128	.769	-.083	.334	.861	-.140
細かい—あ ら い	-.558	.466	.426	.014	.261	.198	-.155	-.221	.536	-.676	-.518	.538
規則的—不規則的	-.325	.649	.532	.011	.976	-.031	.011	-.264	.826	.051	-.139	.754
忙しい—のんびりした	.776	.220	.237	.733	-.029	-.143	-.091	.825	.288	-.012	.772	.383
*きつい—おだやかな	.922	.010	.067	.908	-.044	-.072	-.062	.902	.076	.066	.855	.132
重 い—軽 い	.798	-.078	-.062	.692	-.015	-.128	.389	.806	.002	.171	.872	.008
心地よい—不 快 な	-.718	-.532	.559	-.538	.270	.798	-.012	-.731	.130	.438	-.878	-.031
不安な—安心感のある	.803	.040	.034	.532	-.324	-.314	.067	.631	-.206	-.559	.722	.040
*強い—弱 い	.920	.073	.078	.943	-.076	-.055	.015	.894	.046	.079	.917	.043
*激しい—かすかな	.908	.057	.064	.928	-.063	-.062	.048	.868	.080	.067	.935	.015
単調な—変化の激しい	-.413	.851	-.449	-.185	.702	.155	-.053	-.552	.529	.271	-.489	.558
重々しい—軽 快 な	.820	-.071	-.104	.660	-.016	-.145	.734	.748	.233	-.004	.845	-.007
VAR								.522	.103	.080		

*1) 強さの因子の形容詞尺度

度間の相関係数によって数量的に表現し、その相関係数を用いて個々のこの尺度の背後に存在する共通の因子を因子分析(主因子法)によって求め、Vavimax 回転を行なった。その結果を表2示す。

対象船SW丸においては、第Ⅰ因子は「大きい-小さい」「きつい-おだやかな」「強い-弱い」「激しい-かすかな」に因子負荷量が大きく強さの因子、第Ⅱ因子は「規則的な-不規則的な」「単調な-変化の激しい」に因子負荷量が大きく時間的変動の因子、第Ⅲ因子は「心地よい-不快な」にその負荷量が大きく快さの因子と解釈できる。他船についても同様に各因子ごとにその負荷量の大きい形容詞尺度をみることによって因子の解釈を行なうことができる。

対象船ST丸では重さの第Ⅳ因子が抽出され

た。

そこで、形容詞尺度の評点と振動物理量の相関々係のよさを求めてみると、VLを振動物理量とした場合表3のようになった。すなわち、強さの因子負荷量の大きい形容詞尺度とVLの相関が高いことが明らかとなった。VLは振動の感覚的強さをあらわす振動物理量であることがわかる。このことは他のVAL, VL(OB)max, VGLにおいても同じ傾向が得られた。これらの事実から強さの因子負荷量の大きい形容詞尺度を選び、その評点の平均値を表1の心理量とした。

b 強さの因子の形容詞尺度と物理量の相関表4にその結果を示す。相関が高いことからVL, VGL, VAL, VL(OB)maxで振動感覚を評定することができる見通しが立つ。

表3 形容詞尺度の評点とVLの相関(立位)

供 試 船	SW丸	ST丸	KM丸(往)	KM丸(復)	HT丸
鋭 い-に ぶ い	-.877	-.630	-.786	-.868	—
おそ い-は や い	.910	.672	.713	.895	—
*1)かた い-柔 か い	-.904	-.723	-.669	-.878	-.977
大 き い-小 さ い	-.834	-.707	-.822	-.905	—
細 か い-あ ら い	.598	.594	.471	.781	—
規 則 的-不 規 則 的	.253	.214	.429	.387	.945
忙 し い-のんびりした	-.848	-.736	-.826	-.832	—
*き つ い-おだやかな	-.810	-.762	-.807	-.909	-.987
重 い-軽 い	-.735	-.698	-.828	-.942	—
心地よ い-不 快 な	.807	.653	.817	.883	.957
不 安 な-安定感のある	-.826	-.666	-.699	-.879	—
*強 い-弱 い	-.841	-.740	-.777	-.932	-.970
*激 し い-かすかな	-.887	-.763	-.825	-.934	-.975
単 調 な-変化の激しい	.658	.637	.601	.770	—
重々し い-軽 快 な	-.875	-.622	-.831	-.901	-.942

*1) 強さの因子の形容詞尺度

表 4 強さの因子の形容詞尺度と物理量の相関

供 試 船	姿 勢	V A L	V L	V L _{(OB)max}	V G L
J A号 (往)	立 位	-.657	-.705		
J A号 (復)	〃	-.853	-.797		
S A号 (往)	〃	-.806	-.896		
S A号 (復)	〃	-.888	-.893		
S W 丸	〃	-.701	-.869	-.808	-.891
S T 丸	〃	-.857	-.702	-.473	-.789
K M丸 (往)	〃	-.836	-.780	-.649	-.816
K M丸 (復)	〃	-.872	-.923	-.854	-.866
	〃	-.862	-.980	-.985	-.934
H T 丸	臥 位	-.799	-.946	-.955	-.904

なかでも V L, V G L には高い相関がみられた。

c 強さの因子の形容詞尺度の段階と物理量の関係

表5に示すように、V A L, V Lは9回の、V L_{(OB) max} は5回の実船実験の結果の平均値 \bar{x} と標準差 S.D で示されている。段階4から段階1に移動するにしたがってばらつき度合が大きくなっていく傾向がみられる。特に V A L

と V L_{(OB) max} にその傾向が著しい。このことは振動の大きさの判断に文脈効果が生ずるのではないかと推察される。その1つの要因として、船別に選んだ14ヶ所の振動評価場所における振動物理量の刺激として存在する範囲の相異により生ずる文脈効果が考えられる。また日常に最も多く経験する振動範囲によって枠組が既に形成され、その枠組の効果もまた中性判断に影響しているのではないかと考えられる。

表 5 強さの因子の形容詞尺度の段階と物理量の関係 (立位)

物 理 量	尺 度 段 階			
	どちらともいえない 4	やや 3	かなり 2	非常に 1
V A L N=9	($\bar{x} \pm S.D$) 27 ± 2.8	($\bar{x} \pm S.D$) 35 ± 3.5	($\bar{x} \pm S.D$) 43 ± 4.9	($\bar{x} \pm S.D$) 51 ± 6.6
V L N=9	17 ± 1.2	23 ± 1.7	29 ± 2.4	35 ± 3.6
V L _{(OB) max} N=5	14 ± 1.0	21 ± 3.0	28 ± 5.0	35 ± 7.0
V G L N=5	28.5 ± 1.6	34.5 ± 2.1	40.5 ± 2.9	46.5 ± 3.8

このような文脈効果に関する種々の知見から推察して、実船における振動感覚の評定は単純なものではないことがわかる。しかし、できるだけ数多くの資料をもとにした統計的な検討はきわめて重要である。

測定結果からVL, VGLは振動感覚との相関が高く、また尺度段階4から1に移動するにしたがって増大するばらつき度合が小さいので振動感覚評定には最も適していることがわかった。VGLは三輪提案による感覚的な大きさをあらわす、実験的に求めた物理量であるので当然の結果と考えられる。そして、 $VL = VGL - 1.5$ の関係が得られた。したがって測定の簡便さも考え合わせ、VL値を基本として尺度化することが最も好ましい。

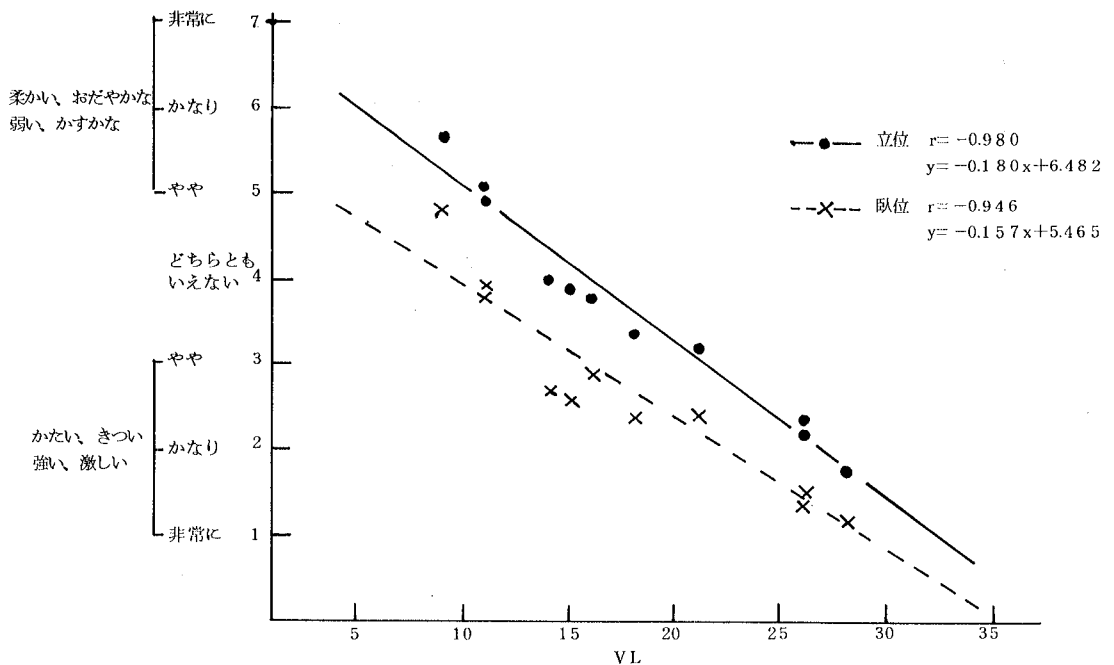
d HT丸における臥位での評定

臥位については、対象船HT丸においてのみ立位と合わせて測定を試みた。図2にその結果を示す。VLと形容詞尺度の評点である心理量との相関はきわめて高く、この心理量の立位と臥位の評定の差は、この図の注に示されるように1段階であった。

e S.D法による船体振動の評定尺度の提案VLと評定尺度との関係はつぎのとおりと考えられる。

	どちらとも いえない	やや	かなり	非常に
VL(立位)	17dB	23dB	29dB	35dB
VL(臥位)	11	17	23	29

なお、臥位については、形容詞尺度の評点で



*1, 強さの因子の形容詞尺度の評点の立位と臥位の差:

平均1.0, S.D=0.195

図 2

図 2 S.D法による評定尺度とVL——HT丸

ある心理量の立位と臥位の差は1段階であったのでこれを考慮して決めた。

f VLによる評定尺度とISOの振動暴露基準

前に述べたように、ISOの基準では各許容限界のレベルをこえた最大の $V A L_{(OB)}$ すなわち $V L_{(OB)max}$ によって評価することになっており、人体の振動感覚においては異なった周波数の振動の影響が互に干渉し合うことはないという仮定に立っている。したがって各周波数のオーバオール値VLならびに複合振動の和の法則から計算したVGL値による判断と、ISO

の基準による判断が相異なることは明らかである。VLと $V L_{(OB)max}$ の関係を実測値からみると図3のとおりである。

今回提案したISOの評価法の対象となる $V L_{(OB)max}$ は、VL、VGLよりも振動感覚の尺度化の点ではおとっていることもまえに述べた。しいて両者を関係づけるならば、VLと $V L_{(OB)max}$ の差が平均3dBの関係から、図4、5のように関係づけた。臥位の尺度は船員の居住区、立位の尺度は立位での作業場に適用できると考えてよいであろう。

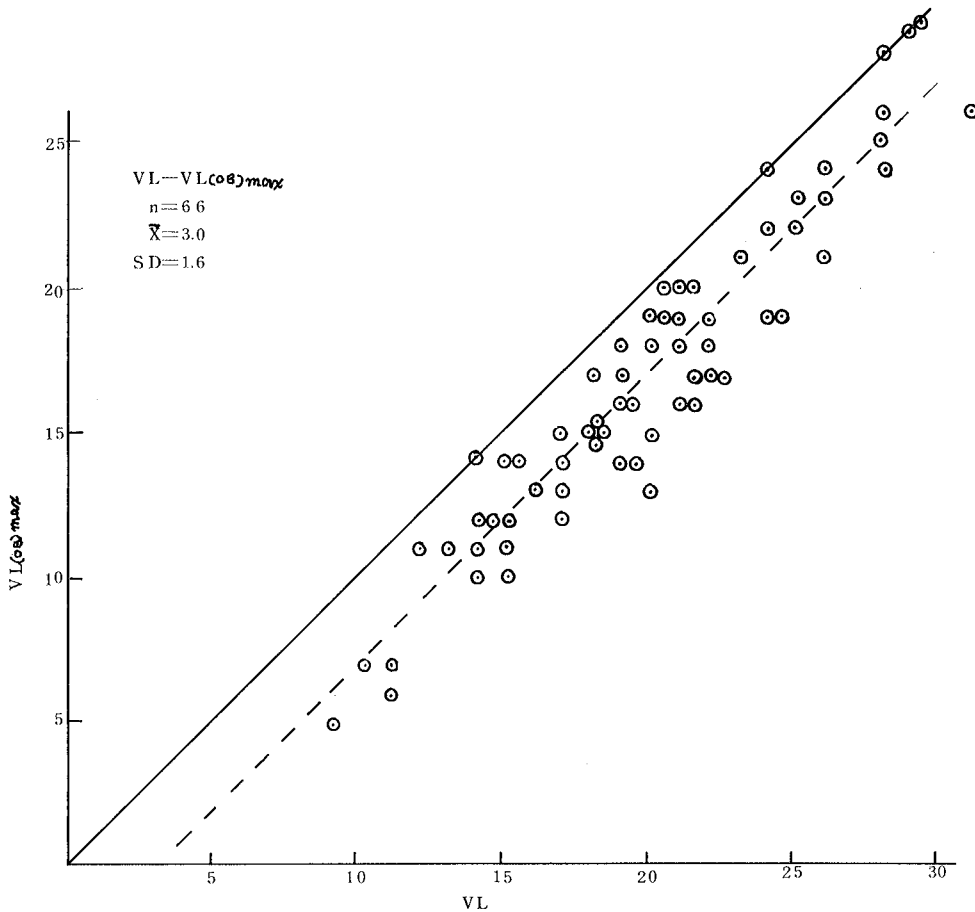


図3 VLと $V L_{(OB)max}$ の実測値の関係

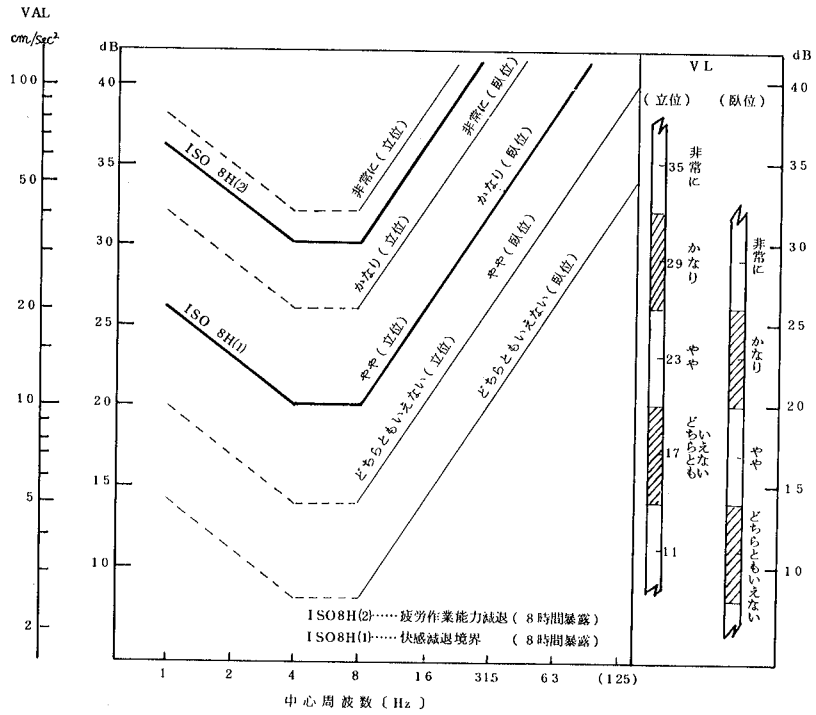


図 4 S.D法による評定尺度とISOの振動暴露基準(上下方向)

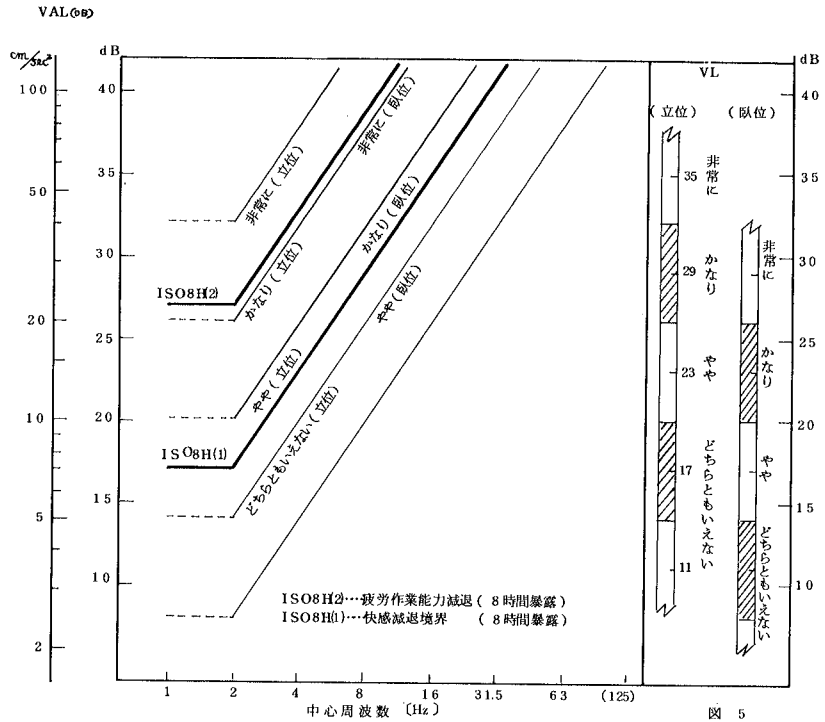


図 5 S.D法による評定尺度とISOの振動暴露基準(水平方向)

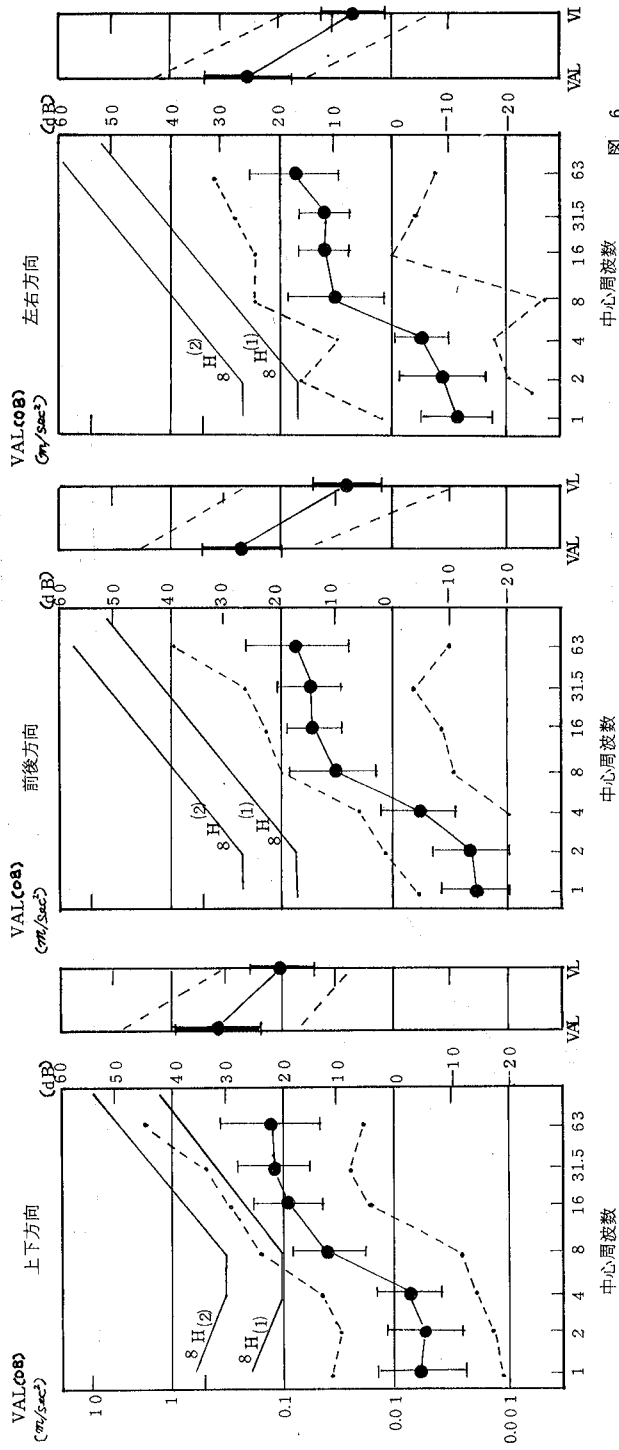


图 6

图 6 供試船の船体振動の実態

g 供試船の船体振動の実態

図6に示すように8 Hz以上の周波数域に主勢力のある振動である。また、上下方向の振動に比べて水平振動の加速度レベルが低く、上下方向の振動が振動感覚に大きく反応する場合が多い。このことは船体振動の一般的な傾向とみられる。

C 結 論

(1) VL, VGLは振動感覚の評定に最も適した振動物理量である。VL=VGL-11.5関係が得られたが、測定の簡便さからVLによる振動感覚の尺度化が便利である。

(2) 周波数スペクトルによるISOの評価法より、VLによる評価法が振動感覚評定にはすぐれている。これは人体の振動感覚においては、複合振動にみられるような異なった周波数の振動の影響が互に干渉し合うということを示している。

(3) VLによる評定尺度とISOの振動暴露基準との比較で検討することができた。(図4, 図5)。臥位の尺度は船員の居住区、立位の尺度は立位での作業場に適用できる。

(5) 船では水平方向の振動は少なくても感覚的には全く問題がない場合が良い。また8 Hz以上の周波数域に主勢力のあるVAL振動である。4 Hz以下の周波数域の振動は少ない。

(6) 本研究では周波数分析でオクターブ、バンド、フィルタを使用した。ISOの基準では $1/3$ オクターブ、バンドフィルタまたはそれ以下の狭帯域のフィルタを用いることになっているが、これらのフィルタの違いによる評価値の検討が必要であろう。また、実船では4 Hz以下の周波数域の主勢力のある振動が容易に得られないので、S.D法による検討は困難である。したがって、別の方法による検討が必要である。