

I 衝撃振動と動揺の評価基準に関する調査研究 (第2年度)

1. 高速艇における衝撃，振動， 動揺の人間工学的評価法の検討

目 次	
A. 目 的	1
B. 評価指数または振動感覚物理量とその評価基準	1
C. 椅子上の加速度測定に考慮された点	2
D. 全速、向波における波高別評価	3
E. 全速、波高 2.5 m における対船波向別評価	7
F. 全速、波高 1 m における対船波向別評価	8
G. 試験条件別動揺周期のピーク値	10
H. 油圧式防振椅子の検討	11
I. あとがき	12

A 目 的

本研究は、昭和53年度から3年計画で実施されることになり、本報告は2年度における検討結果を述べている。

初年度においては、23 m型高速艇(65トン、速力25ノット)の波浪衝撃を、レータ・レコーダに収録する機会が得られた。そして、その衝撃振動はリアル・タイム・デジタルアナライザによって解析された。そして、乗心地指数、振動感覚量、脊柱の傷害にかかわる力学的反応指数が求められ、人間の耐性からみた多

角的評価法が考案された。

本年度は、同じ要領で30 m型高速(88トン、速力30ノット)において波浪衝撃が収録され、この加速度測定法の人間工学的解析方法が非常に優れていることを確認するとともに、防振対策として考えられた油圧式のシートダンパつき椅子の効用、労働負荷の検討ができた。

そもそも本研究は、高速艇乗組員における腰痛多発が国内的にも国際的にも問題になっている折柄、乗組員の健康保持のための対策と評価基準を検討することにある。このような大きな目的を達成することは至難の事とはいえ、新しい発想のもとに徐々に研究が進んでいることも事実である。ここに第二報として報告する。

B 評価指数または振動感覚物理量

とその評価基準

a) Vibration Ride Quality Index
—VRQI(～1Hz), VRQI(1～80Hz)

VRQIはアメリカ海軍で使用されている乗心地指数といわれるものである。VRQIは1 Hz以下の振動と、1～80 Hzの範囲の振動の二つに分けて考えられる。ここではVRQI(～1 Hz)とVRQI(1～80 Hz)で表わすことにした。

VRQI(～1 Hz)は、動揺によって生ずる日常生活の困難度、または動揺病(船酔い)の

おとしやすさなどの観点からの動揺の評価指数である。

VRQI (1~80 Hz) は脊柱、内臓、身体の耐久限度からみた1 Hz から80 Hz の範囲の振動の評価指数である。

アメリカ海軍では、『1時間以下のばく露で0.2以下、長時間ばく露で0.1以下』であることが望ましいとしているが、よりきびしい限界『1時間以下のばく露で0.5以下、長時間ばく露で0.2以下』は、全体の運航からみて発生頻度の少ない場合とか、経済的側面からみてどうしても無理を生ずるようなときは認めることを条件としている。

なお、このVRQIは解析時間100秒における人体モデルにおいて加振される質量のrms値から得られ、衝撃的振動の評価には適していない。

b) 振動レベル

振動レベル (VL) は騒音レベルのホン(A)またはdB(A)に相当するもので、振動の大きさをあらかず感覚量に近いといわれている。わが国では公害用の基準レベルとして、この振動レベルが用いられている。

大型商船の居住区では80 dB以下の場合が多く、80 dB以下では乗組員からの苦情が少ないという著者らの報告がある。また心理的手法によって、つぎのような「かたい」「きつい」「強い」「激しい」などの形容詞であらわされる強さの尺度が評価基準として提案されている。

“どちらともいえない” “やや” “かなり” “非常に”
(立位) 77dB 83dB 89dB 95dB

c) 等価感覚加速度 (Equivalent sensibility acceleration: ESA) のピーク値

ESAのピーク値とは、ISOの等感度ウェイトリング・ネットワークをとおして得られた加速度波のピーク値のことであり、ここでは新規にこのように呼称することにした。このピーク値は与えられた区間内の最大値である。上下方向振動の加速度に対する人の感度は4 Hz から8 Hz の振動数において最大に達する。1 Hz から80 Hz までの振動数の全振動加速度を、4 Hz から8 Hz の範囲の振動における振動感覚に等価させて表現することは、振動の感覚的大きさを判断するうえで便利である。なかでも高速艇における衝撃感覚の評価には欠かせることができない。

d) Dynamic Response Index (DRI)

この指数は、P. R. Payne らの提案によるもので、衝撃による脊柱の傷害とかかわりがある。脊柱の傷害発生率がDRIの大きさによって評価できることは、エアパイロットが座席のまま脱出できる装置の設計基準を検討するために実施したところの、動的モデル実験の結果によって得られた。

G. R. Allen のISOに提案している暫定基準によると、回復に100日を要するような脊柱の傷害発生率が5%となるようなDRIは、1日における繰返し衝撃数10, 100, 1,000, 10,000に対して、ほぼ8, 6.5, 5.5, 5となっている。この暫定基準は今後さらに検討され、また修正されていくであろうが、まだ今後の検討に期待するところが多い。

C 椅子上の加速度測定に考慮された点

前年度の23m型高速艇において、操舵手用椅子の防振効果を検討したが失敗した。すなわ

ち、操舵手は、座席面が最下位に下がると、舵輪の位置に対しての身体の位置が下がり過ぎ、その都度床につけた足で立ちあがって調整していることに、後で気がついた。したがって、測定された加速度は、足による立ちあがりによっておこるスプリングの力で元にもどる座面、立ちあがりから着座によって沈む座面の加速度が含まれることになり、防振効果を正しく検討することができなかった。このことはまた椅子そのものに問題があることを示している。

今回の30m型高速艇の場合、操舵手用椅子は油圧式のシートダンパが使用されている。この椅子では下腿は床につかず、臀部に人体の荷重がすべてかかっており、検討のための正確な加速度を測定することが可能であった。

座席クッションのような弾力性物体が振動体と人体の間に存在するときの測定は、例えば薄い適当な形の金属板を挿入するなど工夫する必要がある。今回も前と同様、産業医学総合研究所の三輪氏らの発案による300×300×30mm、重量1.3kgのアルミニウム製の箱にピックアップを取りつけた。

D 全速，向波における波高別評価

図1の(a)(b)(c)(d)にそれぞれの評価結果を示す。測定ヶ所は居住区の前部(船首部)と後部(船体中央部)、操舵室の操舵手椅子下の床上と椅子のシート・クッション上としている。

VRQIの評価基準として、ここでは、1時間以下のばく露では我慢できる限界を0.2とし、1時間以上の長時間で我慢できる限界を0.1とした。また全体の運航からみて発生頻度の少ない場合などの条件つき耐久限度としては、1時間以下のばく露の場合0.5、それ以上の長時間ばく露の場合0.2として検討することにした。

図の(a)はそれぞれの条件における動揺の評価指数であるVRQI($\sim 1\text{Hz}$)を示している。波高2.5mでは居住区前部で0.42、操舵室床上で0.35、居住区後部においても0.28であって、1時間以下のばく露で我慢できる限界0.2をはるかにこえている。波高1.5mでは1時間以下なら我慢できる限界0.2以下となり、さらに波高1mと0.7mになるにしたがって、この動揺評価指数は小さくなっていくことを示

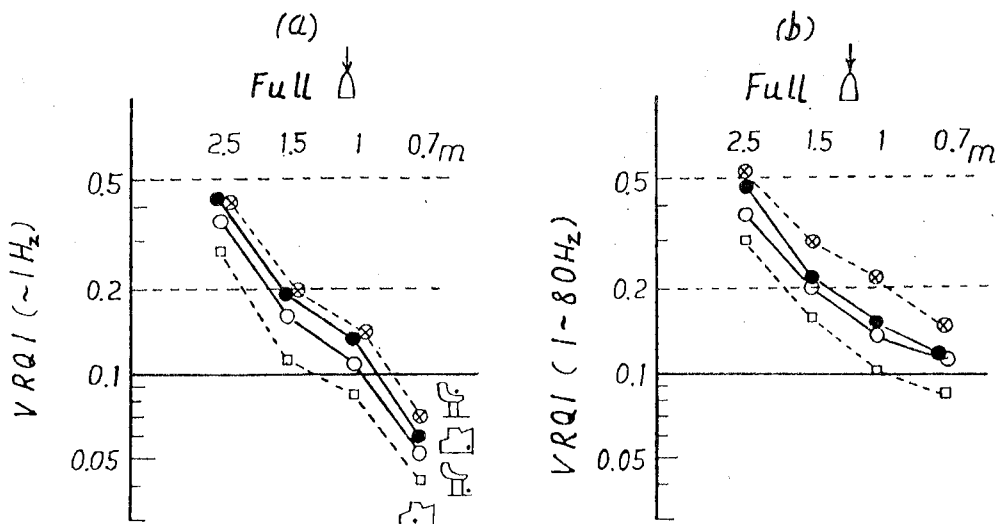


図1, (a)(b) 全速, 向波, 波高別評価結果

している。ここで疑問がもたれることは、操舵手用椅子の上部は油圧式シートダンパを採用しているにもかかわらず、椅子下の床よりも、さらに最も条件のきびしい居住区前部よりも評価指数が大きいことである。このことは他の評価指数または振動感覚量においても同じ傾向であった。このことについては後の節で検討することにする。

図の(b)はVRQ I (1 ~ 80 Hz) を示す。この評価指数は、解析時間をVRQ I (~1 Hz) と同じにするため、10秒間の解析を連続的に10回実施し、計算により100秒におけるrms値から得られたものである。解析時間100秒とした理由はほかにもあるが、前回の報告に詳細に述べたので、ここでは省略する。

VRQ I (1 ~ 80 Hz) による評価では、居住区前部で0.46、操舵室床上で0.37、居住区後部で0.3となって限界0.2をはるかにこえている。波高1.5mにおいても居住区前部で0.22、操舵手室床上で0.2、居住区後部で0.16となり、かなりきびしい値となっている。波高0.7mにおいても、VRQ I (~1 Hz) に比べて指数の低下が少ない。また、ここでも操舵手用椅子の上部の指数は椅子下の床よりも、さらに最も条件のきびしい居住区前部よりも大きい。

図の(c)は振動レベル(VL)と等価感覚加速度(ESA)のピーク値による評価結果を示している。いずれも解析時間100秒において得られた評価結果である。

まずVLは図中に示された大型商船の乗組員から得られた尺度によって評価すると、いずれの波高においても“非常に”カテゴリに属している。波高2.5mでは103dBから108dB

の間にある。一般商船の居住区は80dB以下の場合が多く、最船尾船員室では80dBをこえることがあるが、大きくても85dBをこえることは少ないといわれている。また、高速艇の1Hzから80Hzの範囲の振動はパワースペクトルを求めてみた結果、きわめて低い振動数域にその主勢力のある振動であることがわかった。このようにピーク振動数が2Hz前後というような低い振動数域の振動は、一般商船においてはみられない。すなわち高速艇の振動は振動感覚で大きいばかりでなく、姿勢を不安定にするところの不規則な、また大きな振動であることがわかる。

VLと(b)のVRQ I (1 ~ 80 Hz) の関係をここで明らかにしておく。すなわち、VLのdB値をg単位に換算し、その2倍がVRQ I (1 ~ 80 Hz) と一致する。例えばVL100dBは0.1gであり、0.1gはrms値である。したがってVRQ I (1 ~ 80 Hz) では0.2に相当することになる。(c)の左側の縦軸に示される0.05と0.1と0.25の数字は、VRQ I (1 ~ 80 Hz) の0.1、0.2、0.5の限界に相当すると考えてよい。一般商船における振動評価の基準値とVRQ I (1 ~ 80 Hz) の関係は、高速艇の振動の理解に役立つであろう。

ESAのピーク値は解析時間100秒間における最大のピーク値を示す。波高2.5mでは、居住区前部で1.78g、操舵室床上で1.56g、居住区後部では1.4g、操舵手用椅子の上部では2.13gとなっており、艇が落下する直前に身体が空中に浮く感じから、着水時にはっきりした衝撃感覚が操舵室で得られた。

図の(d)はDRIによる評価結果を示している。このDRIは解析時間100秒間で得られた最

大のピーク値で示されている。波高2.5mでは、居住区前部では3.77、操舵室床上では3.47、居住区前部では2.69とかなり大きい値を示した。なお、操舵手用椅子の上部では4.46となった。波高1.5mにおいても、それぞれの測定位置で1をこえた。しかしながらまえのIIの2

節で述べたG. R. Allenの暫定基準では問題がないようであるが、まだはっきりした評価基準が十分な検討のうえて公表されていない。ただ、操舵室にいて立位で観察すると、波高2.5mの場合でも脊柱の破損に直接かかわるような強い衝撃的の反応は感じられなかった。

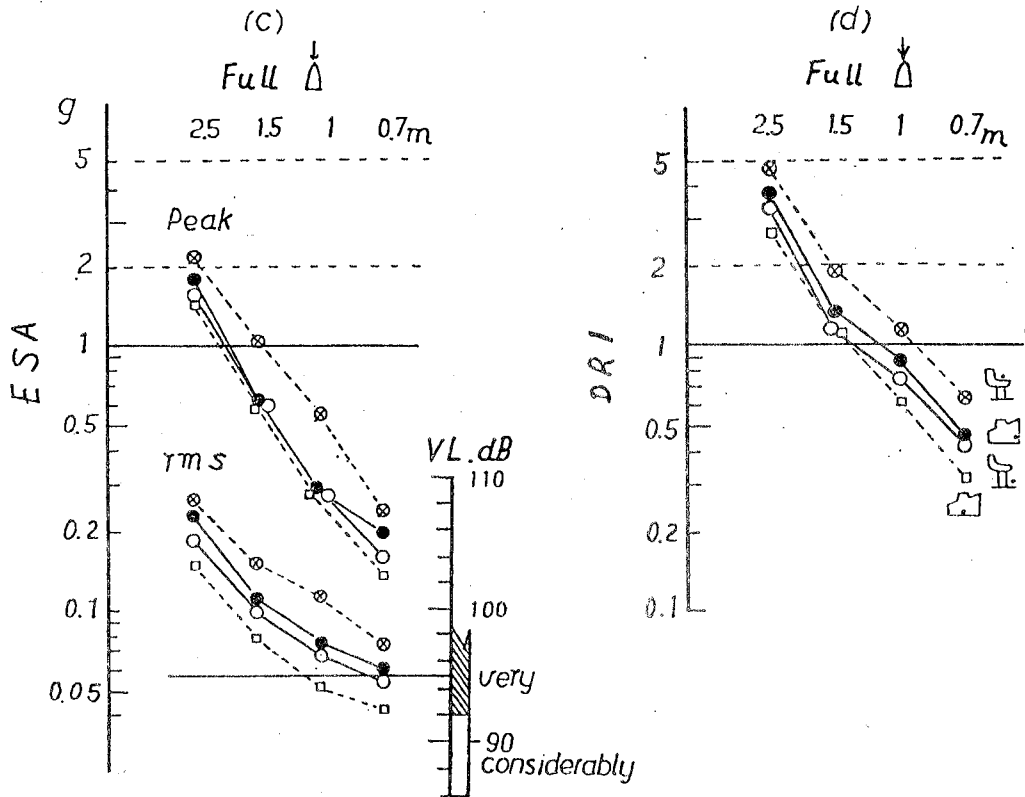


図1, (c)(d) 全速, 向波, 波高別評価結果

つぎに、全速、向波における波高別評価を総合的に図2のように示して検討してみた。

DRIとESAは解析時間100秒間におけるこの区間の最大ピーク値で示されている。VRQI(1~80Hz), VRQI(~1Hz)も解析時間100秒において得られたものである。この図は波高の減少にもなってそれぞれの評価値の低下する様子をよく示している。その中でVRQI(1~80Hz)はその低下の

度合が他と比較して小さい。

操舵手用椅子の上部は他の測定ヶ所より評価値が特に大きい。この傾向は波高別にみても変わらない。しかしながら、乗組員の意見によると、この油圧式シートダンパつき椅子の評判は至ってよかったので、実船における加速度波の収録時には当然のことながら、このシートダンパによって防振され、その結果低い評価値が得られるものと期待していた。研究室にて収録波の解

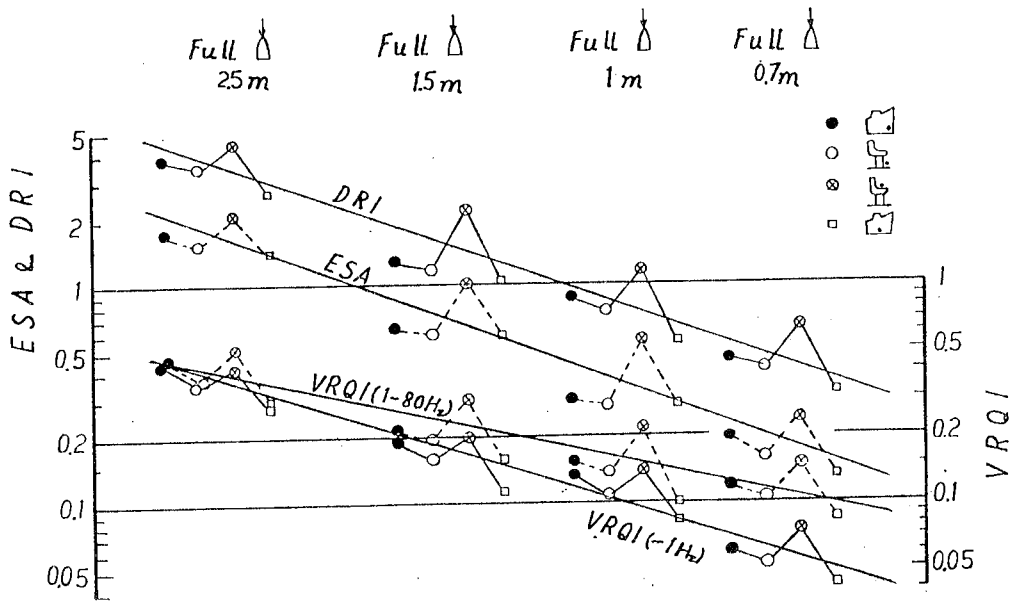


図2 全速，向波，波高別，総合評価結果

析結果をみてはじめてこの矛盾に気がついた。これらの矛盾の解明は後の節で述べることにし、油圧式シートダンパつき椅子を使用するときにはきびしい衝撃と振動でも容易に耐えられることは事実である。ここではこの椅子上の評価値は別にして、筆者らの操舵室における立位または加速度計測中の姿勢で得た観察をもとにして総合的に評価してみることにした。

波高 2.5 m の場合の評価は、本調査における最もきびしい試験条件で得られたものであり、高速艇の船体強度上からも、乗組員の耐性から考えても長時間の運航は危険であると思われた。波浪衝撃は 2 秒前後の周期で船首に到来し、このうちでもとくに大きい衝撃が 100 秒の間に数回到来する。このとき立位の乗組員はこれを予知して腰をおとし、全身の筋のトーンスをかためて身構え、からだに加わる衝撃を、関節のクッション効果を利用して緩和するとともに、物につかまって全身で姿勢保持の努力をしない

と危険である。波浪衝撃の到来を目で確認できない居住区前部、後部は、さらに危険であるといわざるを得ない。VRQI ($\sim 1\text{Hz}$)、VRQI ($1\sim 80\text{Hz}$) による評価は 1 時間以下のばく露で我慢できる限界 0.2 をはるかにこえ、きびしい条件を示している。また、ESA のピーク値は操舵室の床上で 1.568 であり、このときには、艇が落下する直前に身体が空中に浮く感じにつづいて、急に落下して着水時にうけるかなりの大きさの衝撃感覚が得られた。このときの DRI は操舵室の床上で 3.47 であるが、脊柱の破損に直接つながるような脊柱に強くひびく衝撃感覚ではなかった。しかしいずれにせよ、乗組員にとってはきわめてきびしい作業環境である。

波高 1.5 m の場合の評価は、VRQI ($\sim 1\text{Hz}$) の動揺評価で限界 0.2 以下となり、VRQI ($1\sim 80\text{Hz}$) では居住区前部で 0.22、操舵室床上で 0.2、居住区後部で 0.16 となり、

かなりきびしい値となっている。しかしESAのピーク値は0.67であり、衝撃感覚をともなうような衝撃性振動ではない。DRIのピーク値は、それぞれの測定位値で1をこえた。この場合においても、乗組員は物につかまって全身で姿勢保持に注意しないと危険であり、また船内を移動することも危険をともなうとみられる。しかし波高2.5mの場合と比べると精神的な緊張感は一段と少なくなる。

波高1mの場合の評価は、VRQI($\sim 1\text{Hz}$) VRQI($1\sim 80\text{Hz}$)ともに、1時間ばく露以下で我慢できる限界0.2以下であり、ESAのピーク値は約0.28で衝撃感覚はともなわない。DRIは1以下である。しかし、かなりきびしい動揺と、 $1\sim 2\text{Hz}$ にピーク振動数をもつような低振動数域の、姿勢を不安定にする性質の振動である。この場合も危険のため居住区

前部に入っていき気にはなれなかった。

波高0.7mの場合の評価では、VRQI($1\sim 80\text{Hz}$)が長時間ばく露の我慢できる限界0.1の前後であり、その他の評価では問題とされない。この場合は乗組員の船内移動は容易であった。

E 全速，波高2.5mにおける 対船波向別評価

この図3は対船波向の変化にともなってそれぞれの評価値の低下する様子を示している。その中で、VRQI($\sim 1\text{Hz}$)はその低下の度合いが他と比して小さいことは、図2の向波における波高別評価値の傾向ではVRQI($1\sim 80\text{Hz}$)がそうであったことと対比してみると面白い。すなわち波高2.5m一定、対船波向別で

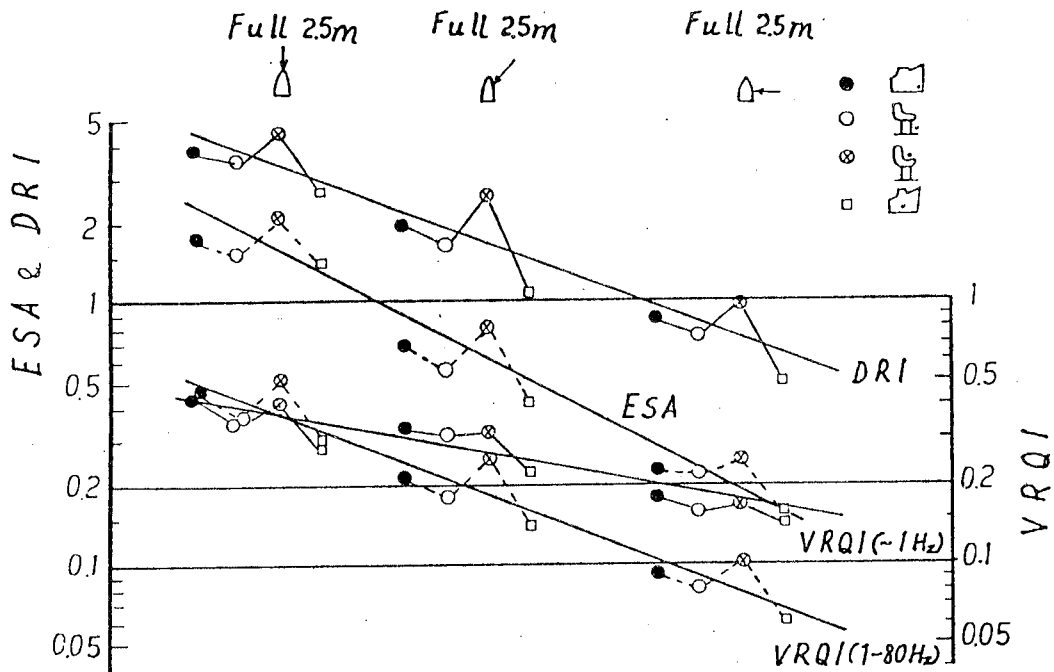


図3 全速、波高2.5m、対船波向別総合評価結果

は動揺成分の低下は少ないが、振動成分の低下が大きいことを示している。またこのことはESAのピーク値の低下の大きいことにもあらわれている。反対に向波における波高別では振動成分の低下が少なく、動揺成分の低下は大きいことを示している。

波高2.5m、向波の場合は図2で述べたとおりであるが、対船波向が斜向波となるとVRQI(～1Hz)は限界0.2をこえきびしい動揺であることを示している。VRQI(1～80Hz)は限界0.2またはそれ以下である。しかしESAのピーク値では衝撃感覚をとまなうような衝撃性振動ではない。また全体的には図2の向波、波高1.5mの場合の評価値よりいくぶんきびしい値になっている。

波高2.5m、横波の場合には、動揺評価のためのVRQI(～1Hz)は1時間ばく露以下の我慢できる限界以下であるが、長時間ばく露の航海では我慢できない評価値となっている。VRQI(1～80Hz)は限界0.1以下であり、ESAのピーク値も衝撃振動でないことを示し、この場合は動揺評価でのみ問題が生ずることがわかる。

F 全速，波高1mにおける

対船波向別評価

図4の(a)(b)(c)(d)にそれぞれの評価結果を示す。

図の(a)はそれぞれの波向別の動揺の評価指数VRQI(～1Hz)を示している。居住区後部ではすべての波向において長時間ばく露で我慢できない限界0.1を下まわるが、居住区前部操舵室床上では、向波ならびに斜向波において、この限界0.1をこえ、その他の波向では限界

0.1をこえ、その他の波向では限界0.1を下まわる。

図の(b)はVRQI(1～80Hz)を示す。この評価では、向波ならびに斜向波において限界0.1をこえ、長時間ばく露ではかなりきびしいという評価となっている。

図の(c)は振動レベル(VL)とESAのピーク値を示している。VLでは向波、斜向波で90dBをこえ、一般商船乗組員にとっては非常に強いまたは激しい振動の範囲に入る。ESAのピーク値の評価からは、この場合艇が波頂で跳躍し、波の谷間付近で衝撃感覚をとまなうような現象がないことを示している。

図の(d)はDRIのピーク値を示し、波向によってかなりの減少がみられるが、いずれも1以下の値である。

まえの図2の全速、向波における波高別総合評価結果をみると、波高1mでは、波高2.5mや1.5mと比べてかなりよい条件であることがわかる。しかしこの図は向波と斜向波の場合は、まだかなりきびしい動揺と、1～2Hzにピーク振動数をもつところの、姿勢を不安定にする性質のある低振動数域の振動であるといえる。またこの条件では乗組員が船内を移動するためには、特別な注意を払わないと危険である。この図は斜追または追風における条件では、いちじるしく評価がよくないことを示している。

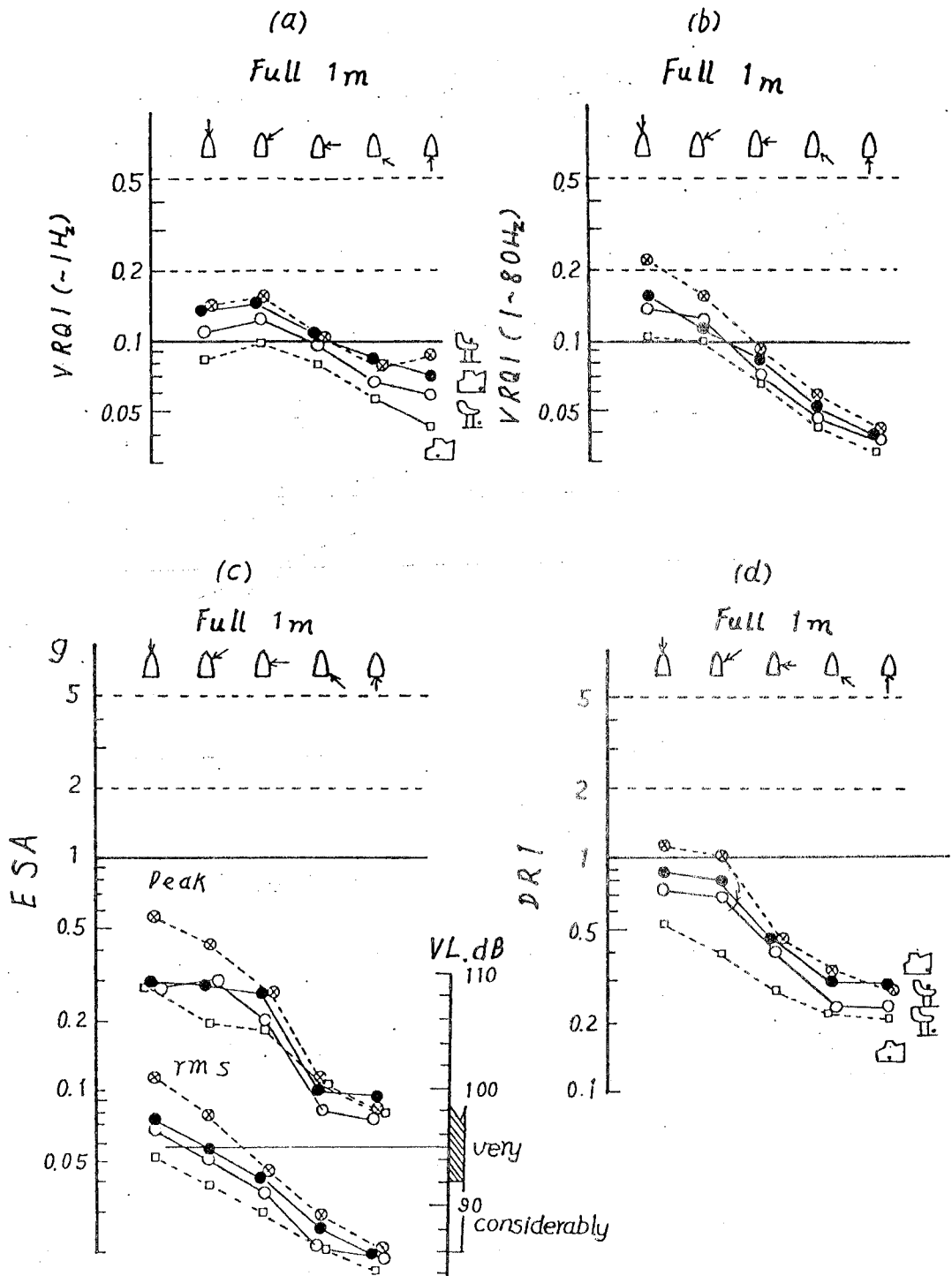


图 4, (a)(b)(c)(d) 全速, 波高 1 m, 对船波向别评价结果

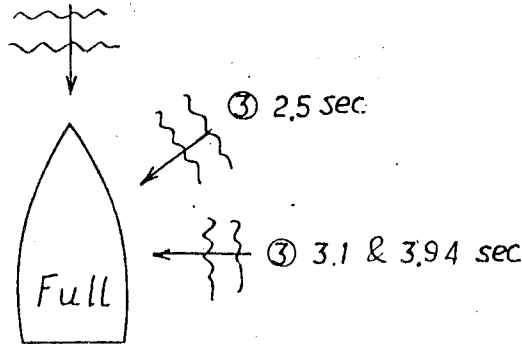
G 試験条件別動揺周期のピーク値

図5は試験条件別動揺周期のピーク値を示す。
このピーク値は前回述べられたようにVRQ I
($\sim 1\text{ Hz}$)のウエイティング・ネットワーク

をとした加速度波解析の結果から求めた。

動揺周期のピーク値は、波高、波長、対船波
向、船速できまるであろうが、このことについ
ては資料も少なく、また本研究の主目的ではな
いことから検討を控えた。

- (a)
- ① 2.4 sec (wave h. 0.7m, wave length 3m, wind v. 7m/sec)
 - ② 1.56 & 1.8 sec (" 1.5m, " 8-10m, " 13m/sec)
 - ③ 1.97 sec (" 2.5m, " 10-15m, " 15m/sec)



(b)

- ① 1.23 & 1.86 sec (full)
- ② 1.26 sec (half)

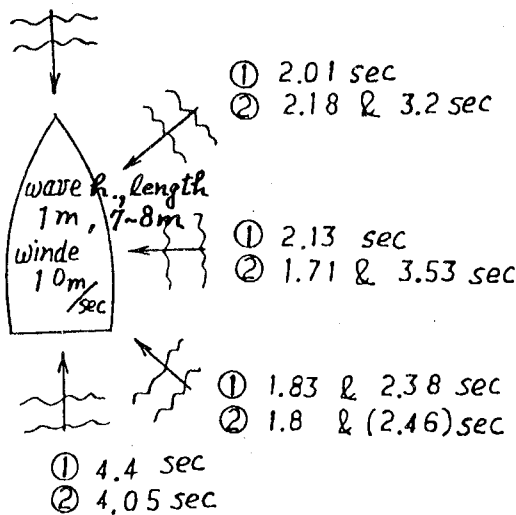


図5 試験条件別動揺周期のピーク値

H 油圧式防振椅子の検討

椅子の防振効果は、椅子下の床と椅子の座面の加速度の比較で検討できると考えた。しかし、椅子は油圧式シートダンパを採用しているにもかかわらず、その椅子の上部の加速度は椅子下の床よりも増巾されており、さらに船首に近い最もきびしい条件にある居住区前部よりも増幅されていることがわかった。

しかしながら、この油圧式シートダンパつき椅子は、乗組員からは非常に好評であった。また、この椅子を使用するときにはきびしい衝撃と振動でも容易に耐えられることも事実のようである。

うえに述べた二つの相反する矛盾から、椅子の防振効果を椅子下の床の衝撃、振動をシートダンパによってどの位減衰させることができるかで、評価することに間違いのあることに気がついた。

油圧式シートダンパつき椅子に腰をかけている姿勢は、下腿は自然に下方にたれ、足先は床面から離して中吊の状態にあるため、かなり激しい衝撃、振動を受けても姿勢保持のために努力する必要が少なくなる。立位においては、乗組員は身体の不安定を防ぐため物につかまって身体をささえ、艇の落下時にはひざをまげるなど、全身で姿勢保持に努力をしなければならない程危険な状態におかれる。これらのことから、このシートダンパつき椅子の効果は、姿勢安定に役立つことにあり、衝撃、振動の減衰にあるのではないと考えられる。

運航中の操舵手の心拍数の変動の測定をした結果を図6に示す。油圧式シートダンパつき椅子を使用した操舵手の測定時間5分の連続記録

心電図から、心臓が収縮するときに発生するRスパイクのR-R-R間隔から毎分値に換算して求めた。したがって、この図は約2～3秒間隔で得られた心拍数の時間経過にともなう変動が、平均値と標準偏差と最大最小値で示されている。

図の(a)は天候快晴、風速3～4 m/sec、波高0.2～0.3 mのきわめて平穏な海面において実施された成績である。テストは向波、追波、斜向波、斜追波、横波の順で実施され、その中で向波と追波において心拍数が測定された。午前中は半速、午後は全速における結果である。その日の心拍数の作業前値は67であり、向波では心拍数の平均値は68、追波では74となった。午後は昼食休憩の後、全速で実施され、向波では80、追波では81となった。

図の(b)は、天候曇、風速10 m/sec、波高1 mの高速艇にとっては、かなりきびしい海面において実施された成績である。テストは(a)と同様の対船波向別に実施され、半速と全速時の試験が連続してなされた。その中で心拍数の測定された波向における結果である。その日の心拍数の作業前値は63であった。半速における向波と追波での平均心拍数は75と67、全速における向波、横波、追波で76、74、74であった。

(a)は午後の心拍数に食後であることが原因となる増加がみられるようであるが、最上の平穏航海における成績である。この(a)に比べて(b)は向波においてはかなりきびしい航海であるが、心拍数の大きな変動が試験条件によってみとめられない。また心拍数も特に大きな増加ではなく、その変動も大きくない。このことはこのシートダンパつき椅子の効果を示す一つの証拠と

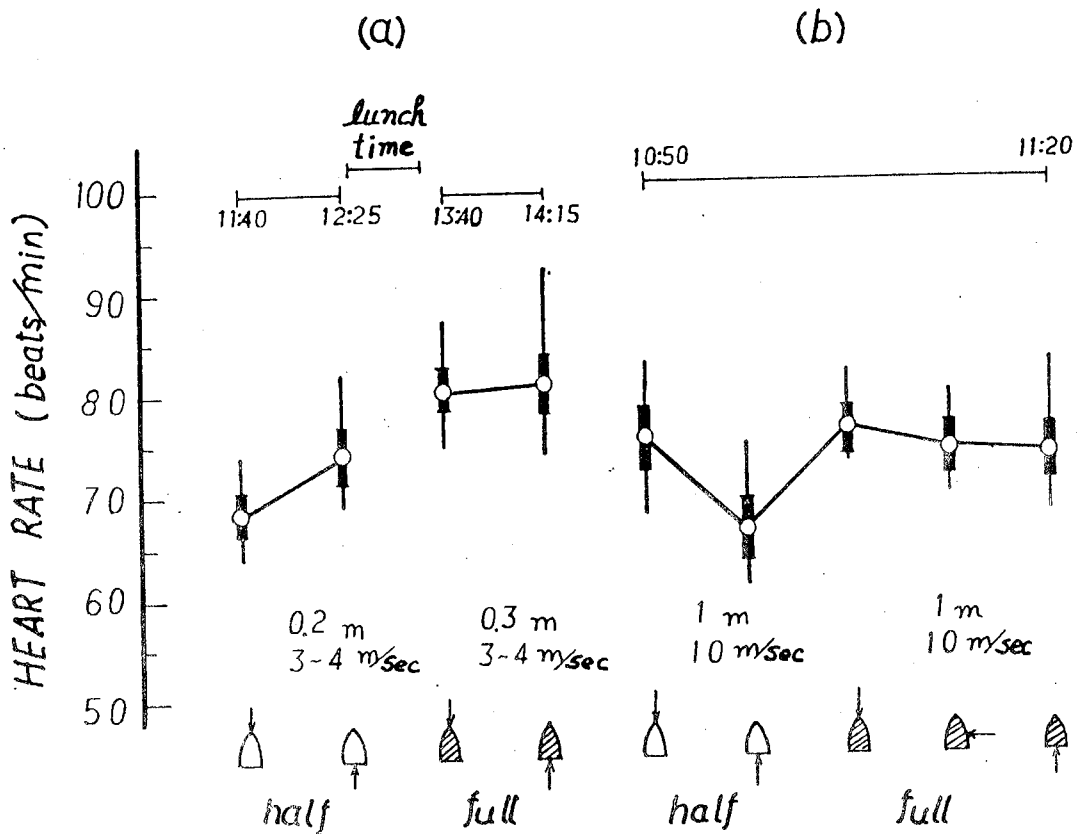


図6 操舵手心拍数の条件別変動 — 平均値, 標準偏差, 最大最小値 —

なるであろう。

この椅子による振動の増幅現象は、共振々動数以下では振動を増大させるだけであるという振動理論から考えてもあり得ることがわかった。高速艇の場合は、動揺の範囲の振動と、1 Hz から3 Hz 位に主勢力のある振動とみられ、シートダンパつき椅子の固有振動数すなわち共振々動数をそれ以下に下げて効果を望むことは困難である(このシートダンパの固有振動数は60 Hz ということである)。

次年度の研究においては、シートダンパつき椅子の人間工学的検討に重点をおいて実施したいと考えている。

今回、防振椅子の効果についての検討に対し

て、われわれは間違った考え方をしていたことに気がついた。これは非常に有益な知見である。このことがわかったことで、防振椅子の検討に自信をもって当たることができるようになった。

I あとがき

本年度は30 m型高速艇(88トン, 速力30ノット)における波浪衝撃が収録され、その実際に収録された加速度測定波から、種々の人間工学的観点から解析して評価する方法を検討し、その結果われわれの考案した方法が有効な手段であることを再確認できた。

今回、防振椅子の効果についての検討におい

て、われわれは間違っただけの考え方をしていたことに気がついた。すなわち、防振椅子による振動の増幅現象から気がついたことであるが、このシートダンパつき椅子の効果は、姿勢安定に役立つことにあり、衝撃、振動の減衰にあるのではないことである。

また、このことの裏付けの一つになると考えられるが、この椅子を使用した操舵手の心拍数の変動を測定し、かなりきびしい航海においても、平穏時の航海に比べて大きな差がみられなかった。次年度においては、今年度得た知見によってシートダンパつき椅子の人間工学的検討を適切に実施できる目途が得られたことは有難

い。

腰痛症との関係では、高速艇の波浪による衝撃と振動によって直接に脊柱に傷害が生ずるような強い荷重が生ずるとは考えられないようであるが、この問題については十分検討したい。しかし、姿勢が不安定になるきびしい環境で姿勢保持のための反射的筋緊張による脊柱をとりまく筋肉疲労の蓄積が腰痛多発の大きな要因となっていると考えられる。次年度は筋電計も使用し、体操やトレーニングによる予防効果についても検討をすすめていく予定である。

(54年度；衝撃，振動，動揺の評価基準に関する研究の一部，神田 寛担当)