

水中の平板に取付けた圧力変換器におよぼす振動 影響の研究

黒部雄三*・吉田三雄*

A proposal on Correction of the Data obtained by Pressure Transducer Fitted on Vibratory Flat Plate in Water

By

YUZO KUROBE and MITSUO YOSHIDA

Abstract

The pressure fluctuations induced by marine propellers are usually measured by means of pressure transducers fitted on hull plate or the local plate of ocean structure. In such a case the pressure transducers are oscillated with the plate, so the measured pressure fluctuations would be shifted from the real pressure fluctuations. If these vibrations are excessive, the effect of vibrations on the measured pressure fluctuations should be corrected.

In this paper, as one of the simple cases the pressure fluctuations on the flat plate uniformly oscillated by an electromagnetic exciter were studied. The relationship between the vibrations of the plate and the resulting pressure fluctuations obtained by the transducer was examined. This paper would be useful to correct the effect of plate vibrations on the measured pressure fluctuations in the case that the plate vibrates uniformly in the water.

1. まえがき

船体や海洋構造物に圧力変換器を取付けて、船体や水中の構造物に加わる変動圧力を計測することが一般に行われている。その計測は圧力変換器の取付けられた構造物部材自身が振動している状態で行われることが多い。その場合、計測された値から、圧力変換器の振動による誘起分を差引いた値が求めたい変動圧力値である。圧力変換器を取付けた部材が剛構造で振動振幅が小さいか、または振動周波数が測定周波数範囲外であれば問題ない。しかし、平板のような部材で、測定周波数範囲と振動周波数範囲が重なる場合、例えば船体外板に圧力変換器を取付け、プロペラにより誘起される変動圧力を計測する場合には、振動による影響を補正する必要が生ずる^{1,2)}。また、模型実験において

もプロペラにより誘起される変動圧力を計測する場合、圧力変換器を取付けた平板をプロペラ上方に設置して行われることが多い。そして、その受圧板をキャピテーション試験を行う實際上、十分に剛構造にはできない為、振動の影響が現われる。

本報告では、振動の圧力変換器への影響を調べる第一ステップとして、最も単純なケースである単一周波数で一樣振動している平板について調べた。加振器により平板を振動させ、平板に取付けた圧力変換器の誘起変動圧力を計測して得られた振動加速度と変動圧力との関係を用い、平板が一樣振動している場合に対して振動影響を補正できるかどうかを調べた。また、計算値との比較を行った。振動影響の推定が必要な時、圧力変換器を取付けた部分が一樣振動しているとみなせる場合には、本報告の結果を用いて推定が可能である。

*推進性能部

原稿受付：昭和60年2月28日

2. 実験および実験結果

2.1 実験方法

本実験は船研の大型キャビテーション水槽第1計測部（計測部断面750mmφ）において行われた。Fig.1に示す様に計測部上面に動電型加振器を設置し、平板を

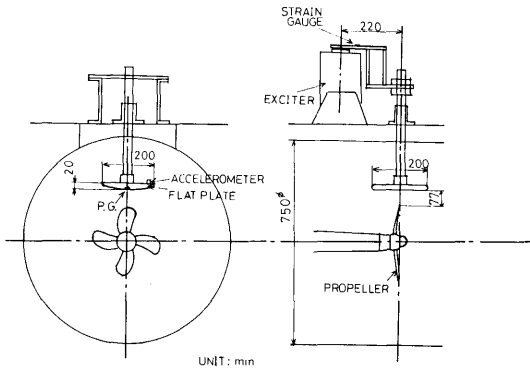


Fig. 1 Measuring apparatus

取付けた装置を上下に加振した。平板下面には半導体圧力変換器を、上面には加速度計を取付けた。それらの配置を Fig.2に示す。使用した加振器、圧力変換器および加速度計の要目を Table.1に示す。

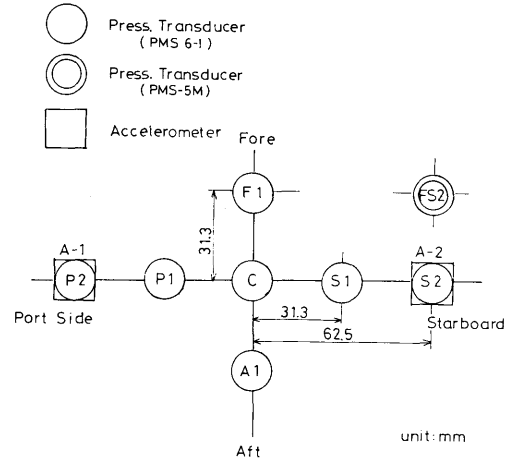


Fig. 2 Location of pressure transducers and accelerometers

Table 1 Specifications of device and transducers

Vib. Exciter		Accelerometer		Press. Transducer		
Type	MSE-11 (AKASHI)	Type	PV-86 (RION)	Type	PMS6-1 (ST)	PMS-5M (TOYODA)
Exciting Force	1Kg	Charge Sensivity	60 PC/G	Capacity	± 1Kg/cm ²	± 1Kg/cm ²
Max. Acc.	5G	Vortage Sensivity	50 mV/G	Output Vortage	± 100mVFS	± 80mVFS
Frequency Range	10Hz-2kHz	Freq. Range	DC -8kHz	Non-Lineality	1%FS	1%FS
Max. Disp.	4 mm	Weight	23 g	Freq. Range	DC-14kHz	DC-15kHz

実験は流速零、静圧約840mmHgの状態で行われた。加振周波数 (F) 一定の状態に加振力 (ΔF) を変化させ、誘起させる加速度 (Δa) と変動圧力 (ΔP) を計測した。加振周波数は88Hz~416Hzとした。また、加振力は加振器と装置支柱を結ぶレバーに加わる力とし、それを計測した。計測系を Fig.3に示す。波形はFFTにより解析した。

2.2 実験結果

加振力、加速度、変動圧力とも波形は加振周波数の正弦波であった。また、加速度は平板の左右舷方向2点において、変動圧力も平板の左右舷および上下流方向7点において同振幅、同位相（振幅、位相とも場所による違い10%以内）であったことから、平板は上下

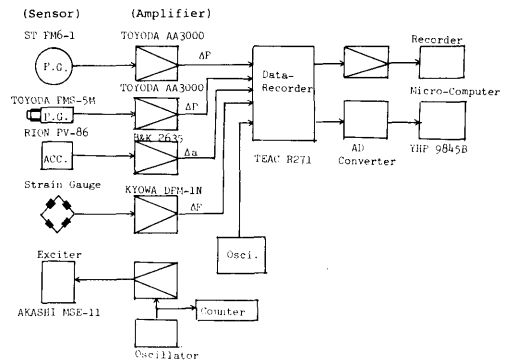


Fig. 3 Measuring system

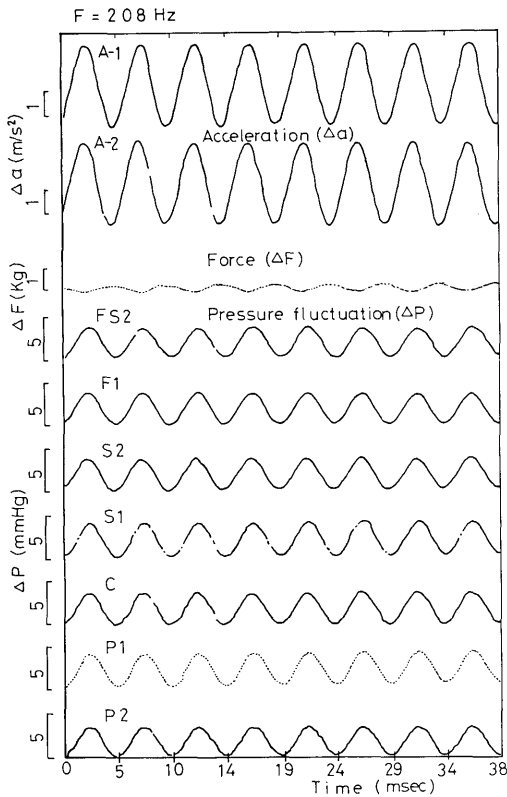


Fig. 4 Measured signals (F = 208Hz)

に一樣振動していたとみなせる。ただし、加速度は同時に計測されていない。計測波形例を Fig.4に示す。加振周波数が88Hzおよび104Hzでは加速度、変動圧力の波形が崩れ、特に加速度においては高次成分が顕著に入った波形になった。その1例を Fig.5に示す。加速度と変動圧力振幅の関係を加振周波数をパラメータとして Fig.6に示す。変動圧力振幅は加速度0~2m/s²の範囲では加速度に比例する。加速度と変動圧力振幅との比を次式により無次元係数 k として表わす。

$$k = \frac{\Delta P}{\rho \cdot \Delta a \cdot A}$$

ΔP : 変動圧力振幅 Δa : 平板の加速度
 ρ : 水の密度 2A : 平板の辺の長さ

この比例係数 k を Fig.7に示す。比例係数 k は加振周波数により異なるが、加振周波数が140Hz から416Hz の範囲では平均値1.25 (標準偏差0.26) である。加振周波数88Hz および104Hz で大きく異なるのは平板が加振周波数のみで振動するのではなく、高次成分の加わった複雑な振動をしたためと思われる。加速度および

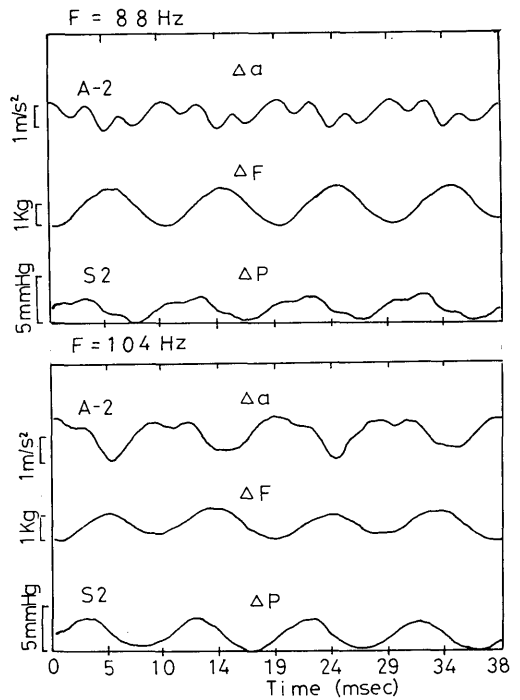


Fig. 5 Measured signals (F = 88&104Hz)

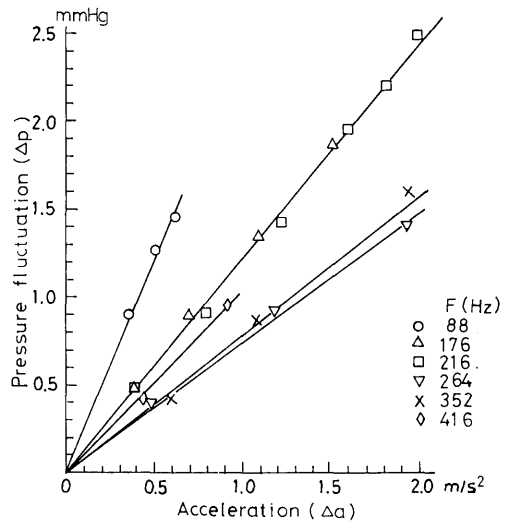


Fig. 6 Relation between pressure fluctuations and the accelerations

変動圧力の加振周波数成分は振幅、位相とも平板の場所による違いは10%以内であった。しかし、加振周波数の2.3倍の周波数成分は左右舷において異なる。加速

$$k = \frac{\Delta P}{\rho \cdot \Delta a \cdot A}$$

ΔP : amplitude of pressure fluctuation
 Δa : amplitude of acceleration
 ρ : density of water
 A : half-length of plate

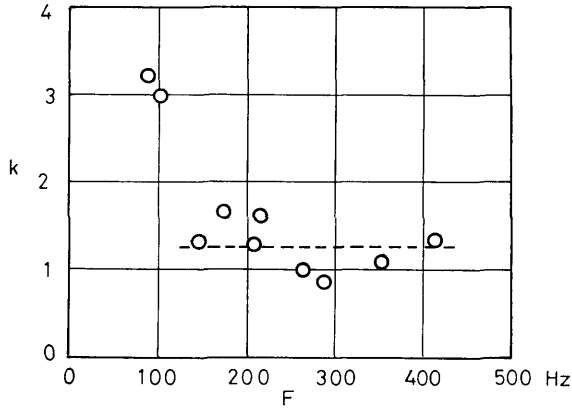


Fig. 7 Ratio between pressure fluctuations and the accelerations

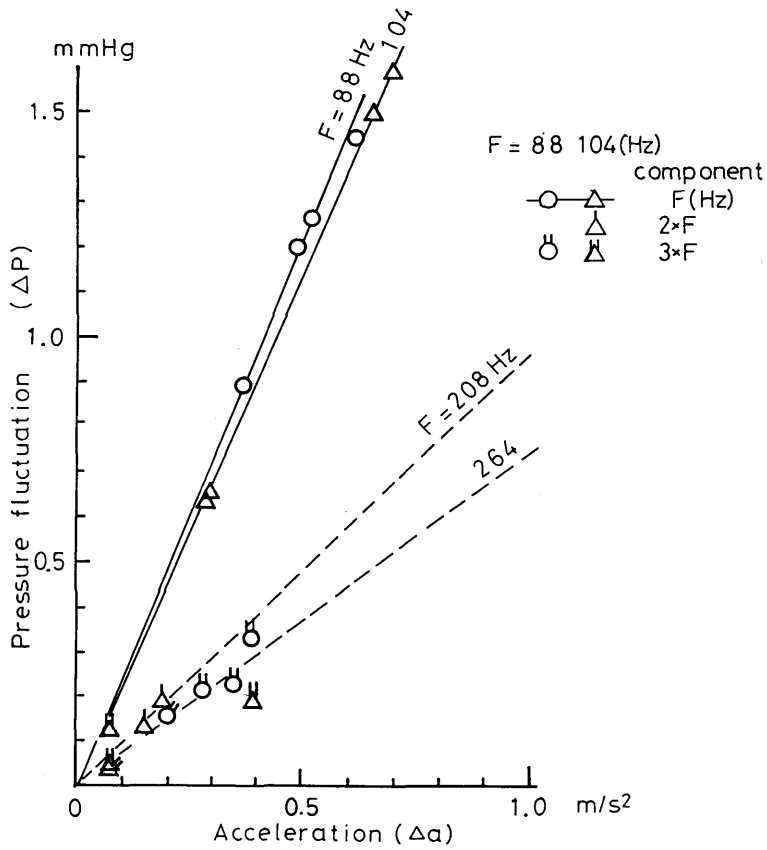


Fig. 8 Relation between pressure fluctuations and accelerations ($F = 88 \& 104 Hz$)

度と変動圧力との関係も一定でない (Fig.8)。すなわち、加振周波数88および104Hzにおいて平板は加振周波数成分に関しては一様振動しているが、それに加振周波数の高次成分の不安定な振動が加わった状態と考えられる。これは、この変動圧力計測装置独自の振動特性である。

実験結果を検討するため、簡単な計算を行った。1枚の両端支持平板が局部振動している場合、振動平板を吹きだしておきかえて任意点での誘起変動圧力を求める式²⁾を一様振動の平板による平板上での任意点 (x', y') での変動圧力 $\Delta P(x', y')$ を求める場合に当てはめると、

$$\Delta P(x', y') = \frac{\rho \cdot \Delta a \cdot A}{2\pi} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \frac{dx dy}{\left[(x-x')^2 + \left(\frac{A}{B}\right)^2 (y-y')^2 \right]^{1/2}}$$

2A, 2B: 平板の縦, 横方向長さ

x, y : 平板の中央を原点とし, 単位長さがそれぞれ B, A である座標

と表わされる。比例係数 k は

$$k = \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \frac{dx dy}{\left[(x-x')^2 + \left(\frac{A}{B}\right)^2 (y-y')^2 \right]^{1/2}}$$

となる。 k の計算結果を Fig.9に示す。 k は平板上で一定となる。本実験で使用した $A=B=0.100\text{m}$ の平板の場合、 $k=1.12$ ($\Delta a=1\text{m/s}^2$ で $\Delta P=0.84\text{mmHg}$) となり、加振周波数140Hz から416Hz での実験値の平均値と比較すると12%の違いとなる。

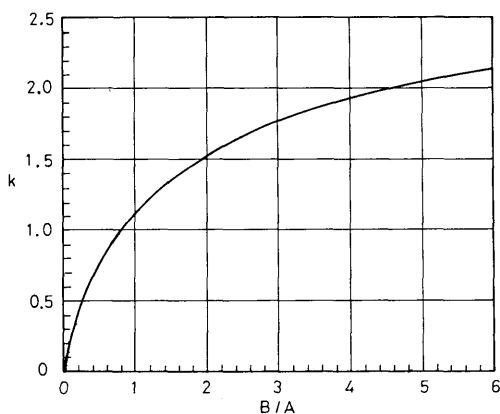


Fig. 9 Theoretical value of k

次に加速度と変動圧力の位相関係を Fig.10に示す。平板が上方に力を受けて変位した時、圧力変換器には負の力が働くため、両者の位相差は理想状態では180°であるが、実際には205°(標準偏差18°)であった。Fig.4および Fig.5の加速度波形は増幅器の特性で出力波形の位相が180°遅れている。

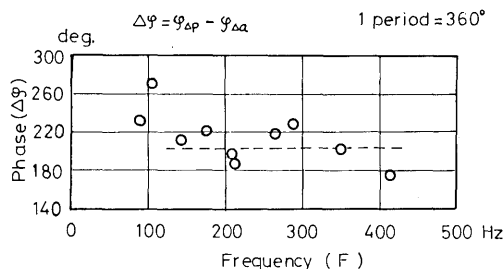


Fig.10 Phase differences between pressure fluctuation and acceleration

2.3 適用例

2.2章の加振実験により得られた結果を用い、一様振動している平板上での圧力計測値の振動影響を修正することが可能であるかどうかを検討した。Fig.1のように平板下方77mm にプロペラを配置した。プロペラの要目を Table.2に示す。スラスト係数 K_T が0.180の状態で作動させた。プロペラ回転数は22および26rps, 翼数は4であるので、平板には88および104 Hzの変動圧力が発生する。プロペラにキャビテーションは発生していないので平板の振動は 0.07m/s^2 以下である。この状態で加振器により Blade Frequency (翼数×プロペラ回転数) の1次成分に相当する88お

Table 2 principal particulars of Propeller

M.P.NO.	2 1 1
Diameter (m)	0.250
Boss Ratio	0.300
Pitch Ratio	0.730
Exp. Area Ratio	0.550
Blade Thickness Ratio	0.050
Blade Section	MAU
Number of Blades	4

よび104Hzと、2次成分に相当する176および208Hzの強制振動(0.4~1.4m/s²)を加えた。結果をFig.11 a), b)およびFig.12に示す。強制振動による加速度とプロペラ変動圧力との位相差によってはFig.11a)に示すように左右舷方向で変動圧力振幅分布形が歪む。位相差が60°付近なら分布形の右舷側がへこむであろう。計測された変動圧力(図中△印)から加振実験結果より得られる誘起変動圧力(図中□印)を差引いた値を補正值として図中に点線で示した。周波数88および104Hzの場合、強制振動のない時の変動圧力振幅と、振動影響を修正した補正值との違いは振幅分布の最大値で5~10%である。周波数176および208Hzの場合にはほぼ完全に振動影響を補正できた。これらの結果から、加振実験の結果を用いることにより、一様振動による影響を修正できることがわかる。

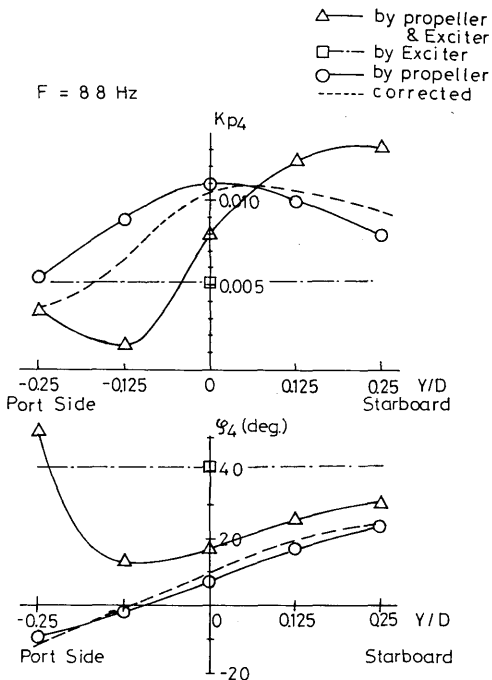


Fig.11a) Amplitude and phase of fluctuating pressure (1st blade frequency component, at F = 88Hz)

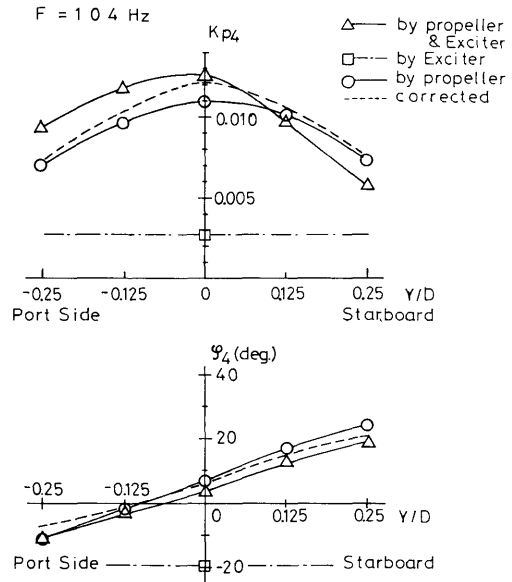


Fig.11b) Amplitude and phase of fluctuating pressure (1st blade frequency component, at F = 104Hz)

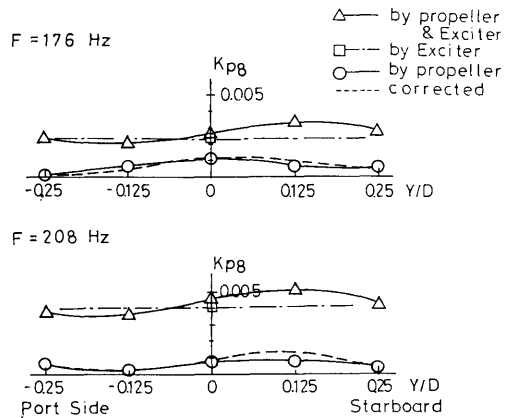


Fig.12 Amplitude of fluctuating pressure (2nd blade frequency component, at 176 Hz and 208 Hz)

4. まとめ

今回、水中で振動する平板に取付けられた圧力変換器出力への振動影響を調べる第一ステップとして、最も単純なケースである一様振動している平板について調べ、次の結論を得た。

- 1) 平板の振動により生ずる誘起変動圧力振幅は、縦20cm 横20cm の平板の場合加速度 1m/s^2 の振動で $0.7\sim 2.4\text{mmHg}$ にもなる。
- 2) 平板が一様振動している場合には、加振実験結果を利用することにより、平板に取付けられた圧力変換器出力への振動影響を推定することができる。
- 3) 平板が単一周波数で一様振動している場合は、誘起変動圧力振幅の概略値を簡単な計算式により推定することができる。

圧力変換器を取付けた平板が一様振動でなく、種々の振動モードで複雑な振動をしている場合には、一様振動の加振実験結果をそのまま利用しても有効な修正ができないようである。非定常キャビテーションを発生した模型プロペラによる変動圧力をプロペラ上方の平板に取付けた圧力変換器で計測すると、平板の振動が関係していると思われる左右舷方向での変動圧力振幅分布に歪みが生ずることがある³⁾。この場合に対し

て、一様振動の加振実験結果を利用して修正を試みたが良い結果は得られなかった。現状では種々の振動モードで振動している平板に取付けた圧力変換器への振動の影響に関して普遍的な修正を得られる様な実験も理論もないので、今後研究を進める必要がある。それらの実験および理論を進めるにあたり、本報告で明らかになった単一周波数、一様振動の影響の大きさのデータはその前進への第一歩になる。

加振実験に関して、当所共通工学部金丸貞己技官の御協力をいただきました。

参考文献

- 1) Sunnersjö.; "Propeller Induced Fluctuations and Vibrations-Model and Full Scale Measurements on F/R Argos", SSPA Rep. 2366-5, 1982
- 2) Huse, E.; "Hull Vibration and Measurements of Propeller-Induced Pressure Fluctuations", NSMB Pub. no.103, 1969
- 3) 右近良孝, 黒部雄三, 角川明, 牧野雅彦: 「広幅浅吃水船に装備されたハイスキュー・プロペラのキャビティ・ボリュームにより誘起される船尾変動圧力」, 船研報告, 第19巻, 第3号, 1982