沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」 設置海域の自然環境条件の検討

鷲 尾 幸 久* 正員 大 澤 弘 敬*
正員 永 田 良 典** 正員 山 下 誠 也***
正員 緒 方 輝 久*

A Study on Environmental Conditions at the Test Site of the Offshore Floating Wave Power Device "Mighty Whale"

by Yukihiwa Washio Hiroyuki Osawa, *Member*
Yoshinori Nagata, *Member* Seiya Yamashita, *Member*
Teruhisa Ogata, *Member*

Summary

"Mighty Whale" is an offshore floating type wave power device based on the oscillating water column(OWC) principle. The prototype of Mighty Whale was installed at the test location, the mouth of Gokasho bay in Mie Prefecture, on July 1998. The open sea tests were started on Sep. 1998, and we are keeping on measuring many data to show the safety and economic features of the device.

Generally, it is important to decide environmental design conditions, wind speed, wave height and so on, when we design offshore structures. Therefore, these design methods are showed by many papers and rules. However, there are few cases to verify whether design methods for actual installed offshore structures are right.

In this paper, we verify design methods by using measurement data on Mighty Whale, and have some concluded points as follows. 1) It is necessary to consider long return year (over 50 years) even if actual year is short (4 or 5 years). 2) In case of using adjacent site conditions data, it is important to consider geographical features. 3) It is practical to cut off extreme data if we decide return years by short-term data. 4) It is better to consider swell conditions by typhoon on the coasts of the Pacific.

1. 結 言

海洋構造物の設計を行う際、自然環境条件の設定は非常に重要であるが、設置海域のデータを長期間計測し、そのデータを用いて自然環境条件の設定を行えることは稀であり、気象官署のデータなど隣接海域のデータ、

或いは設置海域の短期間のデータを用いることが多い。沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」の設計時に定められた自然環境条件も、設置海域の長期間にわたる風および波浪のデータが無かったために、隣接海域のデータを用いて設定されている。これら風や波浪といった自然環境条件の設定方法については、様々な文献や規則等^{1),2),6)}で紹介されているが、実際に実海域に設置された海洋構造物について、設定した設計条件が妥当であったか検証されている例は少ない。これは構造物を設置した後には、その海域における風、波浪のデータ計測があまり行われていないことが大きな理由であろう。

* 海洋科学技術センター 海洋技術研究部

** 石川島播磨重工業(株)船舶海洋事業本部

*** 石川島播磨重工業(株)機械・プラント開発センター

海洋科学技術センターではマイティーホエールの実海域実験を平成10年9月より三重県度会郡南勢町の五ヶ所湾湾口部において開始し、現在も安全性、経済性などに関わる様々なデータの計測を行っており、自然環境については風向風速および波浪について計測を行っている。

そこで本論文では実海域実験で計測された波浪、風のデータを用いて確率統計解析により求めた波高や風速の再現期待値と、設計時に設定した自然環境条件（設計条件）との比較検証を行い、設置海域の自然環境のデータが少ない海域における設計条件の設定方法の妥当性について検証を行った。

2. 実海域実験における自然環境のデータ計測

マイティーホエールの搭載システムや機能・構造などの詳細については、既に論文等^{3)~5)}で発表されているのでここでは割愛する。

マイティーホエールの設置場所は Fig.1 に示す三重県南勢町五ヶ所湾の湾口部沖合約1.5km、水深約40mの海域で、船首方向を南南東に向け係留設置されている。三重県五ヶ所湾は夏場には度々台風に見舞われる地域であり、時には伊勢湾台風のように非常に大型の台風に見舞われ、強風、高波と厳しい自然環境にさらされる地域である。

Fig.1 Location of the test site

実海域実験における風向風速の計測に対しては Fig.2 に示す様にマイティーホエール機室上上のアンテナポストに風車型風向風速計を設置しており、海面上からの高さは約10mである。マイティーホエールへの入射波高の計測は、沖側前方約100m、水深約41mの海底に設置した、Fig.3 に示すような超音波式波高計と水圧式波高計により行っている。風速、波高ともに毎正時20分間（正時をはさみ前後10分間づつ）について、風速は10Hz、波高は2Hzのサンプリングタイムで計測している。風速および波浪の計測機器の仕様は以下の通りである。

る。

風向風速計

計測機器：風車型風向風速計

計測範囲：360deg, 1~60m/s

計測精度：±0.5deg

10m/s 以下：±0.5m/s

10m/s 以上：±5%

設置場所：海面上上約10m

波高計

計測機器：超音波式波高計、水圧式波高計

計測範囲：0~20m（超音波式、水圧式）

計測精度：±0.3%（超音波式）

±1%（水圧式）

設置場所：沖合前方100mの海底、水深約41m

Fig.2 Picture of anemometer

Fig.3 Picture of wave height meter

3. 設計条件の設定方法

3.1 設定方法の概要

海洋構造物を設計する際の自然環境条件の設定方法は、入手可能な観測データの種類によって異なってくる。風および波浪に対する条件の設定手順は、観測データが長期のものか短期のものか、構造物の設置海域のものか隣接海域のものかにより概ねTable1及びTable2に示すような種類に分類される⁶⁾。一般的に風速については日本各地に比較的多くの観測場所があるが、それに比べ波浪の観測点は少なく、特に設置海域の波浪の長期観測が

行われているデータは限られてくる。

それらのデータを用いて再現期間を決めて条件の設定を行うが、長期間のデータに対しては極値統計解析、短期間のデータに対しては確率統計解析が行われる。確率分布としては主に、風速の場合は(1)式に示される二重指数分布、波高の場合は(2)式に示されるワイブル分布が用いられる。

$$x = B + A[-\ln\{-\ln F(x)\}] \quad (1)$$

$$\ln(x - B) = \frac{1}{k} \ln[-\ln\{1 - F(x)\} + \ln A] \quad (2)$$

ここに、 $F(x)$ は未超過確率、 A, B は各分布関数の常数、 k はワイブル分布の常数である。

Table 1 Classification of available wind data

Kind of data	Installed Site		Neighboring area
	Max. / Year	All	Max. / Year
Long term	①	—	③
Short term	—	②	—

Table 2 Classification of available wave data

Kind of data	Installed Site				Neighboring area	
	Max. / Year	Extreme	All	Hind cast	Max. / Year	Extreme
Long term	④	⑤	—	⑦	⑧	⑨
Short term	—	—	⑥	—	—	—

3.2 マイティーホエールに用いた設定方法

マイティーホエールの設計条件を求める際には、その重要度、社会的条件を考慮して自然環境条件の再現期間が50年とし、それぞれTable3に示す値が設定⁷⁾された。以下に各条件の設定方法について述べる。

Table 3 Environmental conditions at the design

Wind speed (10 min. Ave.)	36.4 m/s
Significant wave height	8.0 m
Significant wave period	10~15s
Current speed	1.2 m/s

風速の設定に用いられたデータはTable1に示される③に相当する。つまり設置海域の五ヶ所湾湾口部における風速の観測データがないため、設置海域に近く海域条件も比較的似ている潮岬の過去44年間(1950年~1993年)における年最大風速のデータを用いた。このTable4に示す潮岬のデータから極値統計解析を行い、風速の50年再現期待値を求め36.4m/sとした。

一方、波高の設定に用いられたデータはTable2に示される⑦、⑧に相当する。風速と同様に設置予定海域の波浪観測データが少ないため、上述の潮岬における風速の50年再現期待値から(3)式、(4)式に示すSMB法を用いて波浪推算を行った。SMB法に必要な吹送距離

は(5)式に示すT.Savilleの方法⁸⁾により求め136.3kmとした。

$$\frac{gH_{1/3}}{U_{10}^2} = 0.3[1 - \{1 + 0.004(\frac{gF}{U_{10}^2})^{1/2}\}^{-2}] \quad (3)$$

$$\frac{gT_{1/3}}{2\pi U_{10}^2} = 1.37[1 - \{1 + 0.008(\frac{gF}{U_{10}^2})^{1/3}\}^{-5}] \quad (4)$$

g : 重力加速度、 $H_{1/3}$: 有義波高、

U_{10} : 海上10m高さにおける10分間平均風速、

F : 吹送距離、 $T_{1/3}$: 有義波周期

$$F = \frac{\sum D_i \cos^2(\theta_i - \theta)}{\sum \cos(\theta_i - \theta)} \quad (5)$$

F : 吹送距離、 θ : 主風向

D_i : 主風向を中心に細分化した放射線上の対岸距離

θ_i : 放射線上の主風向からの角度

またSMB法による波浪推算の補足として、潮岬の年最大有義波高の長期観測データから求めた潮岬における50年再現期待値と、事前観測により得られた設置海域における約2年の波高データと潮岬の観測波高との関係から、設置海域における波高の50年再現期待値も求めた。その結果からも設計条件として有義波高8mが得られている。

Table 4 Max. Wind speed at Shionomisaki

Year	Wind (m/s)	Year	Wind (m/s)	Year	Wind (m/s)	Year	Wind (m/s)
1950	30.7	1961	30.3	1972	30.8	1983	13.0
1951	23.5	1962	28.7	1973	16.5	1984	14.4
1952	31.0	1963	24.2	1974	23.5	1985	27.1
1953	291	1964	22.0	1975	18.3	1986	18.5
1954	24.1	1965	27.0	1976	14.3	1987	17.6
1955	29.9	1966	19.7	1977	14.4	1988	16.9
1956	24.8	1967	30.5	1978	16.1	1989	18.1
1957	22.6	1968	20.7	1979	20.0	1990	33.1
1958	32.5	1969	22.2	1980	16.6	1991	17.4
1959	33.4	1970	22.7	1981	18.9	1992	17.5
1960	22.6	1971	18.8	1982	18.0	1993	17.8

4. 設計条件の検証

4.1 設計風速の検証

4.1.1 隣接地域との比較

マイティーホエール実海域実験で計測された風速データから設定値の検証を行う。マイティーホエール上で計測される風速データは、Table1に示す②に相当する。平成10年9月から平成13年3月までに得られているマイティーホエール上で計測された風速の累積出現頻度をTable5に示す。しかしTable5に示したデータでは、マイティーホエール設置直後に相次いで襲来した平成

10 年 9 月の大型台風時のデータが欠損しており、このデータを用いて確率統計解析を行い、風速の設定値を検証するのは不十分であると考えられる。そこで台風時のデータを補完するため、まず Fig.4 に示すマイティーホエール設置海域と近接する 4 地点のアメダスデータを用いてマイティーホエールデータとの相関を検討する。アメダス観測データとマイティーホエール観測データの累積頻度分布の比較を Fig.5 に示す。なおアメダス観測データは毎正時 10 分間の平均風速であり、マイティーホエールは 20 分間平均風速である。またアメダスの統計データの期間は平成 10 年から平成 12 年の 3 年間のデータで、マイティーホエールのデータ計測期間とはほぼ同じである。

Table 5 Frequency distribution of wind speed at the MW test site

	Wind Speed (m/sec)							
	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8
Accumulation total	821	2794	6054	9865	13214	15693	17339	18419
Frequency	4.07	9.77	16.14	18.87	16.58	12.27	8.15	5.35
Cumulative frequency	4.07	13.83	29.98	48.85	65.43	77.70	85.85	91.20

	Wind Speed (m/sec)							
	9~10	10~11	11~12	12~13	13~14	14~15	15~20	20~25
Accumulation total	19589	19826	19972	20051	20103	20138	20193	20196
Frequency	2.20	1.17	0.72	0.39	0.26	0.17	0.27	0.01
Cumulative frequency	96.99	98.17	98.89	99.28	99.54	99.71	99.99	100.00

Fig.4 Sites of AMeDAS stations

Fig.5 Comparison between cumulative frequencies

アメダス観測場所としては南勢が最もマイティーホエールに近いが、マイティーホエール計測データに対しては潮岬のデータが最も似た傾向を示している事が Fig.5 よりわかる。これは潮岬がマイティーホエールと同様に南側に海が開けており、さらに外洋に近いためであると考えられる。一方、南勢は湾奥に位置し、まわりを山に囲まれているため南からの風が入りにくいなどの地形的な理由から、マイティーホエールより風速がかなり小さいものと考えられる。以上より設置海域と似た風速の出現傾向を持つ潮岬のデータを設計時に用いたことは妥当であったと考える。

4.1.2 設計風速の評価

前節に示した結果より、台風時の欠測期間について潮岬のデータとの相関を取り補完することとする。潮岬とマイティーホエールの相関を取るために、マイティーホエールのデータ欠測期間について潮岬も同様にデータを削除し、データの計測期間を全く同じにして両者について確率統計解析を行い再現期待値を比較してみると Table6 のようになり、潮岬における観測データの約 1.2 倍がマイティーホエール設置海域における風速に相当する。したがって相関係数を 1.2 としてマイティーホエールでの欠測期間について潮岬のデータから補完し、出現頻度表を作成し直すと Table7 のようになる。ここで潮岬とマイティーホエールの相関係数を 1.2 としたが、海上風と陸上風（海岸の観測点、風上側）との相関係数⁹⁾は、海上風が陸上風の約 1.20 倍であることから妥当な数値である。

Table 6 Comparison wind speed at the Mighty Whale test site with at Shionomisaki

R	M.W. (U_M) (m/s)	Shionomisaki (U_S) (m/s)	U_M/U_S
30	27.2	22.9	1.2
40	27.8	23.3	1.2
50	28.2	23.7	1.2
60	28.6	24.0	1.2
80	29.1	24.4	1.2
100	29.5	24.8	1.2

さらに Table7 の頻度表から確率統計解析を行うと、Fig.6 に示すように実海域実験データを基にして得られた風速の 50 年再現期待値は 31.7m/sec となる。この値は Table3 に示した設定値に概ね近く、設計値が妥当な数値であったと言える。ただしここで推定したマイティーホエールの計測データに基づく風速の 50 年再現期待値は 20 分間平均風速であり、10 分間平均風速に換算するとさらに設定値に近づくことが予想される。

Table 7 Frequency distribution of wind speed at the MW test site (including corrective data)

Wind Speed (m/sec)									
	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9
Accumulation total	785	2720	5902	9533	12626	14820	16215	17086	17676
Frequency	4.23	10.42	17.13	19.55	16.65	11.81	7.51	4.69	3.18
Cumulative frequency	4.23	14.64	31.78	51.33	67.98	79.79	87.30	91.99	95.17

Wind Speed (m/sec)									
	9~10	10~11	11~12	12~13	13~14	14~15	15~20	20~25	25~30
Accumulation total	18042	18249	18381	18453	18497	18526	18570	18573	18573
Frequency	1.97	1.11	0.71	0.39	0.24	0.16	0.24	0.02	0.00
Cumulative frequency	97.14	98.26	98.97	99.35	99.59	99.75	99.98	100.00	100.00

Fig.6 Wind speed of R return years

なお設計時に極値統計解析に使用した風速データは1950年～1993年までのデータであるが、日本において

Table 8 Frequency distribution of significant wave at the Mighty Whale test site

		Significant Wave Height (m)																					
		0 0.5	0.5 1.0	1.0 1.5	1.5 2.0	2.0 2.5	2.5 3.0	3.0 3.5	3.5 4.0	4.0 4.5	4.5 5.0	5.0 5.5	5.5 6.0	6.0 6.5	6.5 7.0	7.0 7.5	7.5 8.0	8.0 8.5	8.5 9.0	9.0 9.5	9.5 10	Total	
Significant Wave Period (sec)	2~3	2	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
	3~4	849	697	22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1569	
	4~5	2902	1428	129	18	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4480	
	5~6	1993	1940	244	53	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4240	
	6~7	1039	3007	522	124	25	11	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4734	
	7~8	558	2401	694	217	57	23	10	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3967	
	8~9	229	1073	659	260	107	29	18	18	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2397	
	9~10	59	278	384	218	113	45	12	4	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1119	
	10~11	9	44	131	113	69	35	26	6	1	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	439	
	11~12	0	7	28	22	20	20	14	10	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	125	
	12~13	0	2	3	7	9	6	7	5	5	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	48	
	13~14	0	0	2	5	12	4	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	30	
	14~15	0	0	0	5	4	4	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	
	Total	7640	10889	2818	1043	427	179	98	51	16	9	3	1	3	0	0	1	0	0	1	0	23179	
Cumulative Frequency		0.329	0.799	0.920	0.965	0.984	0.992	0.996	0.998	0.9992	0.9996	0.9997	0.9997	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	1.00	1.00	—		

観測される風速は、1900年代後半になるにしたがって小さくなってきている傾向にあることが指摘されており、マイティーホエール設計時に使用した風速も1950年代、1960年代と30m/secを超える風速が数多く観測されているが、それ以降はあまり大きな風速は観測されていない。近年のデータのみで極値統計解析を行うと、再現期待値は小さくなり過小評価してしまう可能性もある。

4.2 設計波高の検証

4.2.1 計測波高による検証

マイティーホエール実海域実験で計測された波高データから設定値の検証を行う。マイティーホエール上で計測される波高データは、Table2に示す⑥に相当する。実海域実験で計測された入射波のデータより得られた波浪頻度表をTable8に示す。波浪のデータについては風速のように台風時の欠測は無く、ほぼ全ての期間についてデータが得られている。Table8の波浪頻度表に用いたデータは基本的に水圧式波高計よりも精度の高い超音波式波高計によるデータで、海水表面が泡立つなどして計測不能であった場合に限り、水圧式波高計のデータを用いている。Table8を見るとわかるように7.5～8.0m及び9.0～9.5mと非常に大波高の波がそれぞれ1回観測されている。これは平成10年の台風7号によるもので、平成10年9月22日の15時と16時に観測されている。この台風7号は紀伊半島に上陸し、各地に大きな被害をもたらした。なおこの時の波高は超音波式波

高計では計測できずに水圧式波高計による計測値である。

この Table 8 に示した頻度表を基に確率統計解析を行うと、50 年再現期待値は Fig.7 に示すように 9.1m となり、Table3 に示した設計時に設定した値 8.0m よりもやや高めの値となる。この理由としては、SMB 法は風波に対する波浪推算方法であり、台風などによるうねりの影響が考慮されていないためであると考えられる。

また一方、この台風 7 号により観測された波高のうち 2 ケースは Table8 に示すように極めて突出した高波高である。このような異常値ともいえるデータを含んだ短期間の観測値を用いて確率統計解析を行うと、長期間の観測データに比べ再現期待値が大き目の値を示すことが予想される。つまりこの異常ともいえる波高を除外して確率統計解析を行った方が現実には則していると考えられる。この 2 ケースの異常データを削除して確率統計解析を行うと、Fig.8 の様になり 50 年再現期待値は 7.2m となる。

Fig.7 Wave height of R return years

Fig.8 Wave height of R return years (except for extreme data)

4. 2. 2 風速からの波浪推算による検証

次に風速からの波浪推算より設定波高の検証を行う。

実海域実験計測データより確率統計解析して得られた風速の 50 年再現期待値 31.7m/s を用いて、設計時と同様に SMB 法により波浪推算を行う。吹送距離は設計時に用いた 136.3km とする。その結果、風速からの波浪推算による 50 年再現期待値は 7.3m となり、設定値とほぼ同じ数値となる。

参考までに平成 10 年 9 月 22 日の台風 7 号時の最大有義波高は約 9.1m であったが、その時のマイティーホエールにおける最大風速 (20 分間平均風速) は 4.1.2 章の潮岬との相関から約 28m/s と推定される。この風速 28m/s を用いて SMB 法により波浪推算を行うと、有義波高は 6.3m にしかならない。これは先に述べたようにうねりの影響が考慮されていない点にあるが、平成 10 年 9 月は Fig.9 の有義波高の推移に示すように大型台風が相次いで日本に上陸もしくは接近しており、したがって海上には大きなうねり成分が残っていたものと考えられる。なおこの様に大型台風が相次いで襲来したことは過去にあまり例を見ない。

Fig.9 Time series of significant wave height

4. 3 自然環境条件の設定値の評価

以上、風および波浪ともに実海域実験のデータを用いて得られた 50 年再現期待値は、いずれも Table10 に比較して判るように、マイティーホエール設計時に定めた自然環境条件とほぼ同じ値となり、設計時に用いた設定方法および設定値は妥当であったと言える。言い換えれば、マイティーホエールの設置期間は 4~5 年程度と短い期間ではあるが、自然環境条件の設定にあたっては長い再現期間 (50 年以上) を考慮することが妥当であったと考えられる。

Table 10 Comparison design conditions with results of verification value

	Design condition	Statistical analysis
U_{10}	36.4 m/s	31.7 m/s
$H_{1/3}$	8.0 m	7.2 m (by wave height)
		7.3 m (by wind speed)

5. 結 言

本研究ではマイティーホエールの実海域実験で得られたデータを基に、海洋構造物の設計条件の設定方法について検証を行い、以下の結果および知見を得ることが出来た。

- (1) マイティーホエールの設計時における自然環境条件の設定には設置海域の近隣海域のデータを用いたが、その設定方法は妥当であった。
- (2) 浮体式海洋構造物の設計条件を設定する際には、概ね設置期間の 2 倍の再現期間が用いられることが多い。しかし、設置期間が 4~5 年と短い場合においては、設置する構造物の重要度や設計時にどの程度のリスクを考慮するかにもよるが、再現期間として概ね 50 年以上の長期間を考慮しておくことが望ましいものと考えられる。
- (3) 設置海域近隣のデータを用いて自然環境条件を設定する場合には、設置海域に近いだけでなく地形などの状況を考慮に入れて観測地点の選択を行う必要がある。
- (4) 短期間の計測データを用いて確率統計解析により再現期待値を求める際には、突出したデータは異常値データとして削除したほうが現実的である。
- (5) 太平洋岸などの台風の影響を強く受ける海域では、波浪条件を定める場合には、うねりの影響を考慮に入れた方が望ましい。

謝 辞

本論に関して、石川島播磨重工業株式会社の中村平一郎部長、富士電機株式会社の村本英久部長、藤田昌孝課長、岡山修三氏、株式会社三井造船昭島研究所の小林正典事業統括部長、日根野元裕統括部長、中川寛之プロジェクトマネージャー、丸山文生課長に多数のご助言、ご討論いただいたことに深く感謝いたします。

またマイティーホエールの実海域実験にあたっては、三重県庁、南勢町役場および地元漁業関係者のご協力・ご理解により行われている事に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 日本造船学会海洋工学委員会設計分科会編：海洋構造物の設計ガイドー自然環境条件ーその 1，日本造船学会誌，第 669 号，(1985)
- 2) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説（上）
- 3) 鷺尾幸久：沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」実海域実験について，日本造船学会誌，第 836 号，(1999)，pp.2-8

- 4) 鷺尾幸久，大澤弘敬，今井正明，安田哲也，永田良典：沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」プロトタイプモデルの構造及び係留システム，第 14 回海洋工学シンポジウム，(1998)，pp.49-54
- 5) 鷺尾幸久，大澤弘敬，今井正明，藤田昌孝，岡山修三：沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」のタービン・発電システム，第 14 回海洋工学シンポジウム，(1998)，pp.49-54
- 6) 平成 9 年度メガフロート技術研究組合研究報告書：メガフロート技術研究組合，(1998)
- 7) 大澤弘敬，永田良典，宮島省吾，前田久明：浅海域における沖合浮体式波力装置の係留システム設計，日本造船学会論文集，第 182 号，(1998)，pp.341-348
- 8) Saville T. : The effective fetch with on wave generation. Tech.Memos., No.74 U.S. Corps of Engineers, (1954)
- 9) 海洋構造物の振動問題ー振動源となる外乱及び外力の予測技術：国際海洋科学技術協会振動部会編，(1988)