



Title	12. 海底地震計の試作
Author(s)	坂尻, 直巳; SAKAJIRI, Naomi
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 25, 229-241
Issue Date	1971-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.25.229
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14001
Type	departmental bulletin paper
File Information	25_p229-241.pdf



12. 海底地震計の試作

坂 尻 直 巳

(北海道大学理学部地球物理学教室)

—昭和45年10月受理—

1. はじめに

海底地震計の装置および、それらを使用した観測結果について、すでに数多くの論文^{1)~14)}が発表されている。

1969年7月北海道襟裳岬沖における U.M.P. による海中爆破を、ハイドロフォンと併用して、海底地震計を用いて観測することを計画し、第1号機を試作した。

- 1) John EWING and Maurice EWING; A Telemetering Ocean-Bottom Seismograph, *J. Geophys. Res.*, **66** (1961), 3863-3878.
- 2) J. T. THOMSON and SCHNEIDER; An Automatic Marine Seismic Monitoring and Recording Device, *Proc. IRE.*, **50** (1961), 2209-2216.
- 3) R. Stanton REYNOLD; An Unattended Seismological Observatory, *Proc. IEEE.*, **53** (1965), 1890-1899.
- 4) H. BRADNER, J. DODDS and R. FOULKS; Coherence Measurements with Time Sampling Ocean-Bottom Seismometers, *Proc. IEEE.*, **53** (1965), 1906-1908.
- 5) G. H. SUTTON, W. G. McDONALD, D. D. PRENTISS and S. N. THANOS; Ocean-Bottom Seismic Observatories, *Proc. IEEE.*, **53** (1965), 1909-1921.
- 6) S. NAGUMO, H. KOBAYASHI and S. KORESAWA; Construction of Ocean Bottom Seismograph, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **43** (1965), 671-683.
- 7) W. A. SCHNEIDER and M. M. BACKUS; Ocean-Bottom Seismic Measurements off the California Coast, *J. Geophys. Res.*, **69** (1964), 1135-1143.
- 8) H. BRADNER, J. G. DODDS and R. E. FOULKS; Investigation of Microseism Sources with Ocean-Bottom Seismometers, *Geophys.*, **30** (1965), 511-526.
- 9) L. N. RYKUNOV and V. V. SEDOV; An Ocean-Bottom Seismograph, *Izv. Earth Physics* (1967), 537-541.
- 10) Gary V. LATHAM and George H. SUTTON; Seismic Measurement on the Ocean Floor, *J. Geophys. Res.*, **71** (1966), 2545-2573.
- 11) S. NAGUMO, H. KOBAYASHI and S. KORESAWA; Improvements of Ocean-Bottom Seismograph—Construction of a Long-Life Magnetic Tape Recorder, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **46** (1968), 861-875.
- 12) S. NAGUMO, H. KOBAYASHI and S. KORESAWA; Sea-Bottom Seismic Observation at Sagami Bay, (1) Seismic Activity, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **46** (1968), 877-888.
- 13) Gary V. LATHAM and Ali A. NOWROOZI; Waves, and Ocean Bottom Microseisms, *J. Geophys. Res.*, **73** (1968), 3945-3956.
- 14) Bruce AULD, Gary LATHAM, Ali NOWROOZI and Leonard SEEBEK; Seismicity off the Coast of Northern California Determined from Ocean Bottom Seismic Measurements, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **59** (1969), 2001-2015.

海底地震計の設計に当って次の事を基準とした。

1. 小型，軽量であること。
2. 海底に設置するため，設置状態を見ることができないので，どのような姿勢で設置されても観測可能であること。
3. 最低5日間以上の連続観測が可能であること。

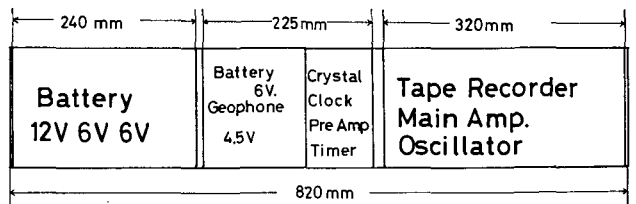
以上のことを考慮して第1号機を試作し，北海道襟裳岬沖の爆破の際，水深1,600 mの所に設置して6日間観測を行なった。しかしこの時は耐圧容器と回路の配線が接触して蓄電池が放電したために失敗した。続いて行なわれたU.M.P.の爆破グループによる積丹沖爆破の際にも設置したが，グラウンドウェーブが観測されず，第1号機は失敗に終わった。

1970年に，爆破および，自然地震の両方を観測できるようにと，第2号機を試作した。そして8月15日から17日までの約47時間，東京大学海洋研究所の“淡青丸”で相模湾に設置して自然地震の観測を行ない，観測は成功した。この論文では第1号機と第2号機の装置および観測方法について述べる。

2. 装 置

海底地震計の設計基準として，前章に述べた3点について詳しく述べると，

1. 小型軽量であること。これはU.M.P.の爆破は捕鯨船（大洋漁業，第17関丸）をチャーターして行なわれたので，観測船の様な設備がなくても作業のし易い様に，できるだけ小さく，かつ軽くする必要があった。そのために第1図に示されているような長さ約900 mm，外径184 mm，内径160 mm，耐用水圧200気圧，重量68 kgの耐圧容器を製作した。この中に観測機械を入れた全体の重量は80 kgである。



第1図 耐圧容器内における観測機械の配置

Fig. 1. Distributions of observation devices in the pressure vessel.

2. 海底に設置するため，どのような姿勢で設置されても観測可能であること。これは設置作業が短時間で終るように地震計を海水中に自由落下させればよいという考えのもとに決めたことである。そのため観測機全体の姿勢差によらないようにしてある。この設置については各部の説明の時に述べる。

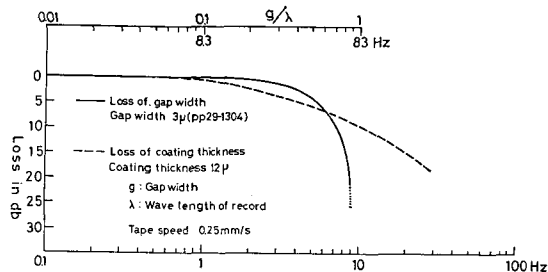
3. 最低5日間以上連続観測が可能であること。そのためには現在微小地震観測で使用されている直接録音方式の4チャンネルテープレコーダー^{15),16)}を採用した。

15) 浅田 敏；極微小地震観測用長時間データレコーダー，地震学会春季大会講演，1966。

16) 森谷武男；地震観測用長時間データレコーダーの試作，北海道大学地球物理学研究報告，23 (1970)，91。

2.1 テープレコーダー

テープレコーダーの製作に当っては、使用する磁気ヘッド、磁気テープ（今回はスーパー 200 を使用）、テープスピードによって録音周波数が決まる。容器の関係上 5 インチテープを使用しているのでテープの長さは 370 m である。したがって 5 日間以上録音するためにはテープスピードを 0.85 mm/s 以下にしなければならない。第 2 図には、テープスピード



第 2 図 磁気ヘッドの間隙とテープの厚さによる周波数特性

Fig. 2. Frequency characteristics of the gap width of magnetic head and thickness of magnetic tape coating.

を 0.25 mm/s とした場合についての磁気ヘッドの間隙幅 g と磁気テープの厚さによるグラフが示されている。使用した磁気ヘッド (SONY PP 29-1304) による損失は実線のグラフで、横軸は g/λ で表わしたグラフの上のスケールである。次に使用したテープによる損失は点線のグラフで、横軸は周波数 (Hz) で表わしたグラフの下スケールである。縦軸はいずれも損失を表わす。その他の損失、例えば磁気ヘッドの渦電流やヘッドとテープの密着度による損失等は考慮しないで磁気ヘッドの間隙幅とテープの厚さによる損失のみを考慮して、テープレコーダーの周波数特性の目安とした^{17), 18)}。

2.1.1 第 1 号機 (O.B.S.-1)

O.B.S.-1 のテープレコーダー部分は第 3 図に示されている。そして各部の寸法等は第 1 表に表示してある。第 3 図に示されている様に、Micromotor からの回転はベルトで Fly-wheel-1, Pulley そして Fly-wheel-2 を経て Capstan に伝えられる。テープは図中の矢印の方向に進み、磁気ヘッドを通った後リールに巻き取られる。第 1 表に表示されているテープスピードは、Micromotor の規格 2,400 rpm/2.5 V によるものである。テープスピードを 0.85 mm/s 以下にするために Micromotor の回転数を落してテープスピードを遅くする。そのために Micromotor にかかる電圧を下げてテープスピードが 0.85 mm/s 以下になるようにして使用する。この形のテープレコーダーは姿勢差に無関係であり、またテープレコーダー部分の占める割合が小さくてよいという利点があるが、図を見ても判る通り、供給リールと巻取りリールが上下にあるため、テープが何度もねじられているので、テープを傷つけ易く、またテープをセットする時は非常に面倒であるという欠点がある。この点を考慮して第 2 号機をあらためて試作した。

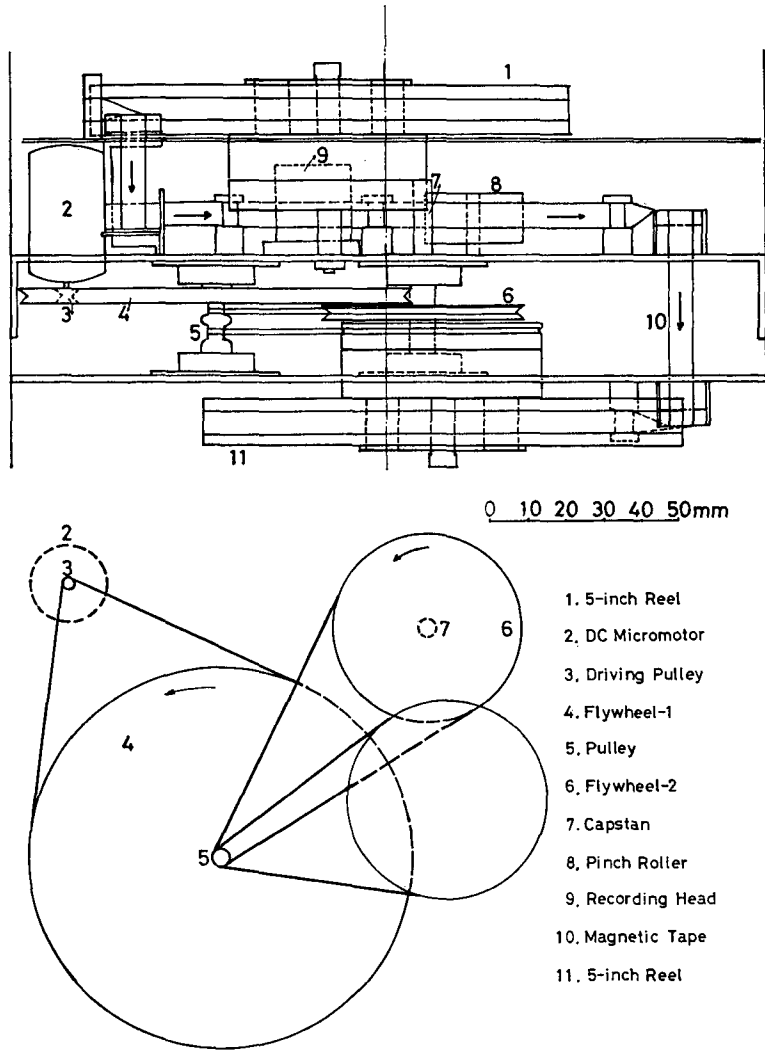
2.1.2 第 2 号機 (O.B.S.-2)

第 4 図と第 2 表に示されているのが第 2 号機である。

第 2 号機は普通のテープレコーダーのようにオープンリール型を採用し、テープ駆動用として

17) 多田正信；磁気録音機，オーム社。

18) 東田道夫；磁気ヘッドの性能と構造，電波科学，臨時増刊 (1968)，32-33。



第3図 O.B.S.-1の機構と遅送り機構

Fig. 3. Mechanism of O.B.S.-1 and its slow speed driving.

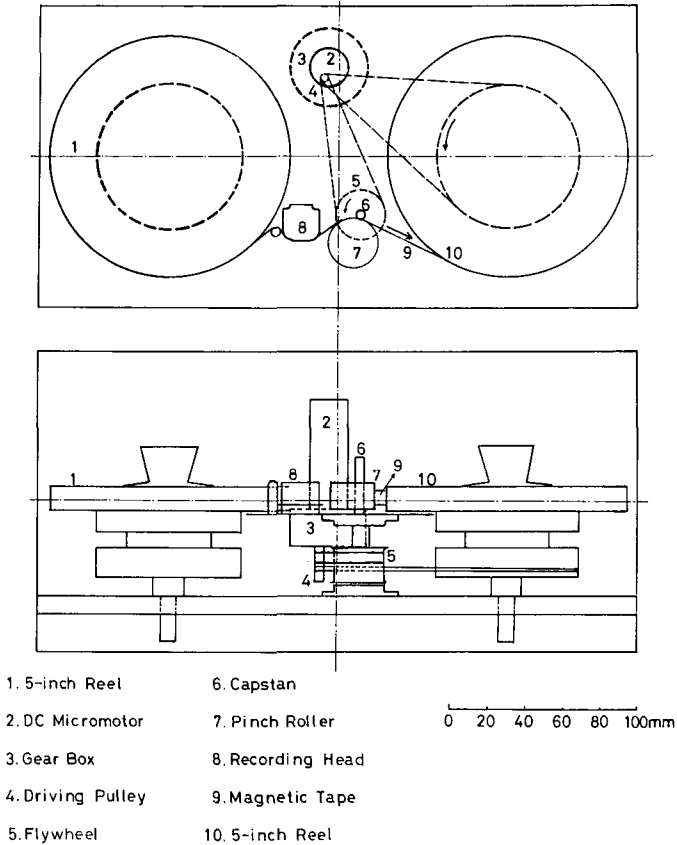
第1表 第1号機の明細

Table 1. Specification of O.B.S.-1.

Motor type	DC Micromotor (SONY D-201) 2,400 rpm/2.5 V
Driving Pulley Dia	3 φ
Fly-wheel-1 Dia	100 φ
Pulley Dia	4 φ
Fly-wheel-2 Dia	50 φ
Capstan Dia	4 φ
Capstan rpm	5.76
Tape Speed	1.28 mm/s

は、サーボモーターを使用した。サーボモーターはオリンパスマイクロ製の CLT-2A (3,000 rpm) を用い、回転数を減らすためにギアボックスをつけモーター部の回転数を 5 rpm とした。そのため第 1 号機の時のように大きな Fly-wheel を使用する必要もなく、キャプスタンの所にテープスピードを調整するような小さな Fly-wheel を取りつけるだけでよい。

テープレコーダーが上下逆になってもリールが落ちない様リール軸にゴムキャップで押え



- 1. 5-inch Reel
- 2. DC Micromotor
- 3. Gear Box
- 4. Driving Pulley
- 5. Flywheel
- 6. Capstan
- 7. Pinch Roller
- 8. Recording Head
- 9. Magnetic Tape
- 10. 5-inch Reel

0 20 40 60 80 100mm

第 4 図 O.B.S.-2 の機構と送り機構

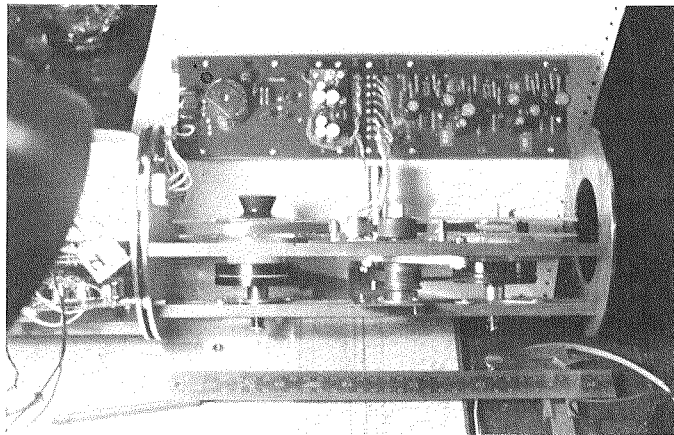
Fig. 4. Mechanism of O.B.S.-2 and its slow speed driving.

第 2 表 第 2 号機の明細

Table 2. Specification of O.B.S.-2.

Motor type	DC Micromotor (CLT-2A-5) 5 rpm/12 V
Driving Pulley Dia	5 φ
Fly-wheel Dia	26 φ
Capstan Dia	5 φ
Capstan rpm	0.96
Tape Speed	0.25 mm/s

ている。またリール受け台はテープレコーダーの骨組に固定してあり、回転軸は間座で止めてあるためどのような姿勢であってもかまわない。テープの進行は図中の矢印の方向に進み、テープスピードは0.28 mm/sである。第2表に表示してあるテープスピードは計算によるものであるが実際とはあまり誤差はない。また図には示されていないが、供給リールの後には、リールのから回りによるテープのはずれを防ぐためにレバーでテープを押えている。こうすることによってテープレコーダーをかなり乱暴に扱ってもテープがリールからはずれ心配がない。なおテープレコーダーの上部の空間には、サーボ回路、バイアス発振器、そして3台のメインアンプが収められている。そして電源その他の配線はコネクタによって接続されている。したがってテープレコーダー部分と換振器の部分は独立の骨組上に組み立てられているため、テープ駆動によるモーターノイズは換振器にはほとんど影響を与えない。第5図に製作したテープレコーダー部分の写真が示されている。テープレコーダーの上部にあるのが、左からバイアスオシレーター、サーボ回路、そして3台のメインアンプである。



第5図 O.B.S.-2のテープレコーダー

Fig. 5. View of O.B.S.-2.

2.2 換振器

換振器としては、Geospace GSC 8D (コイル抵抗 $1,350 \Omega$, 4.5 Hz) の上下動一成分だけを使用した。地震計の設置状態の如何にかかわらず、換振器が常に鉛直に保たれるように第6図に示されているような容器の中に収め、それを2軸のジンバルで吊ってある。この換振器の電圧感度は約 0.67 Volt/kine (Shunt Dampin $7.9 \text{ k}\Omega$, 50%) である。なおこのジンバルの機構は東京大学地震研究所の南雲研究室で設計されたものと同じである。

2.3 増幅器^{19),20)}

前述したように、使用した換振器は上下動一成分のみであり、また製作したテープレコー

19) 岡田義光; 微小地震計測用増幅器について, 地震, 21 (1968), 151-153.

20) 岡田義光; 微小地震計測用前置増幅器について, 地震, 22 (1969), 144-145.

ダーは4チャンネルである。したがって、データとしては3チャンネル使用でき残り1チャンネルは時計用として使用される。故に換振器からの信号を3段階の利得に分割して録音させることにした。信号を3段階の利得に分割するには、増幅器の段間から取り出すのではなく、増幅器の前に3つの減衰器をおき、その後増幅率の同じ増幅器をおいて取り出している。利得は夫々85 db, 61 dbそして37 dbとした。減衰器の前に前置増幅器をおき換振器の Shunt damping を50%とするようにしてある。したがってその時の電圧感度は約0.67 V/kineで、最少150 μ kineの地震から録音することができる。

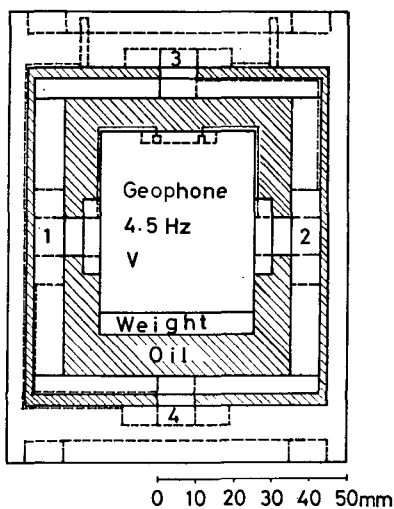
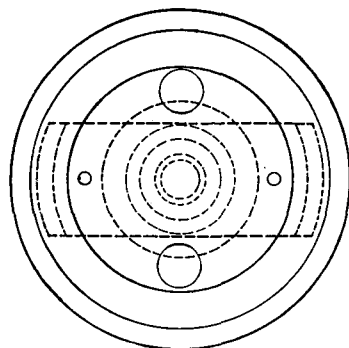
2.4 時計

時計はセイコー 952TF7の頭の部分だけを使用した。この時計に附随していたリレーボックスは容器とスペースの関係上一緒に入れる事ができないので、秒、分そして時間のマークは各々のために一安定マルチバイブレーター、無安定マルチバイブレーターを作り、秒マークは幅200msのパルス、分は40msのパルスが秒マークの間に入り、時間マークは分マークが1分間続くということで区別している。再生の時は耳で音を聞いて分と時間を区別している。

2.5 再生装置

第7図に観測および再生方法のブロックダイアグラムが示されている。再生用のテープレコーダーはSONY TC 560DのヘッドをSONY PP 29-1304チャンネルヘッドと交換して使用し、地震を探す時はテープスピード9.5 cm/sで再生して音を聞き、地震の箇所をテープスピード4.3 cm/sで再生してモニターとしてビジグラフで記録をとる。そして地震の部分をSONY Data Recorder DFM-45でテープスピード15 cm/sで録音し、15/16 cm/sのテープスピードで再生してそれをペンレコーダーで記録をとる。ペンレコーダーで書かれた地震記象は海底地震計で観測された地震より10.7倍だけ時間軸が短縮されている。したがって10 Hzの地震波は107 Hzとなりペンレコーダーでは記録できない。今後この倍率を5倍程度にしてペンレコーダーで記録したいと考えている。

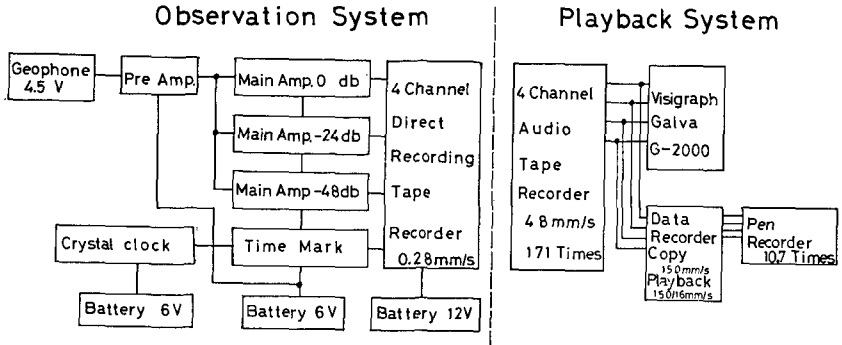
第8図には増幅器とモニターで使用したビジグラフ(ガルバーの固有周波数は2,000 Hz)で再生した時の周波数特性が示されている。図の点線は増幅器、実線はビジグラフで再生した



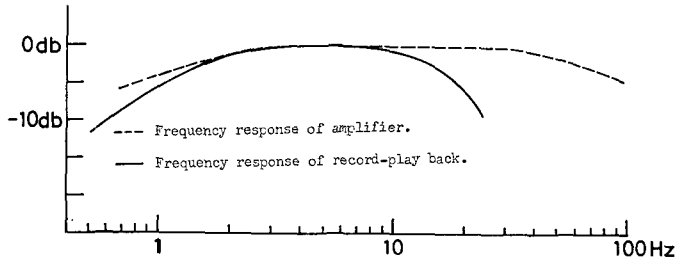
1.2.3.4.: Gimbal

第6図 換振器の姿勢制御機構

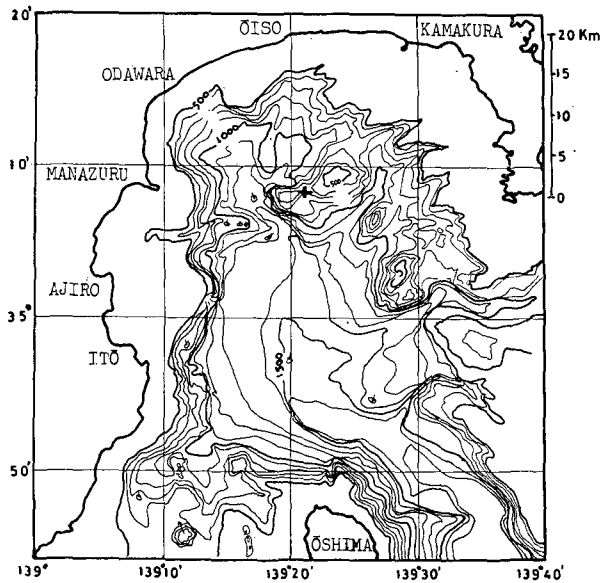
Fig. 6. A leveling device for the geophone.



第 7 図 O.B.S. の観測および再生系のブロックダイアグラム
 Fig. 7. Recording and play back systems of O.B.S..



第 8 図 アンプと観測再生における周波数特性
 Fig. 8. Frequency responses of the amplifier and the record-play back system.



第 9 図 相模湾における観測地点と地形図
 Fig. 9. Location of the station of O.B.S.-2 in Sagami Bay.

時の周波数特性である。

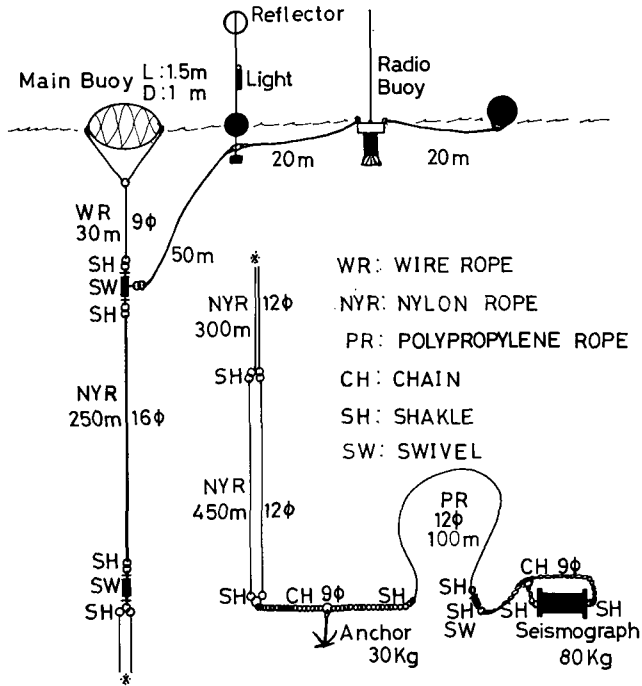
3. 野外観測

1970年8月15日12時20分から8月17日11時50分までの約47時間、東京大学海洋研究所の“淡青丸”で相模湾 (35°08.4' N, 139°21.1' E) に O.B.S.-2 を設置して観測を行なった。設置点および海底地形図は第9図に示してある。

3.1 設置方法

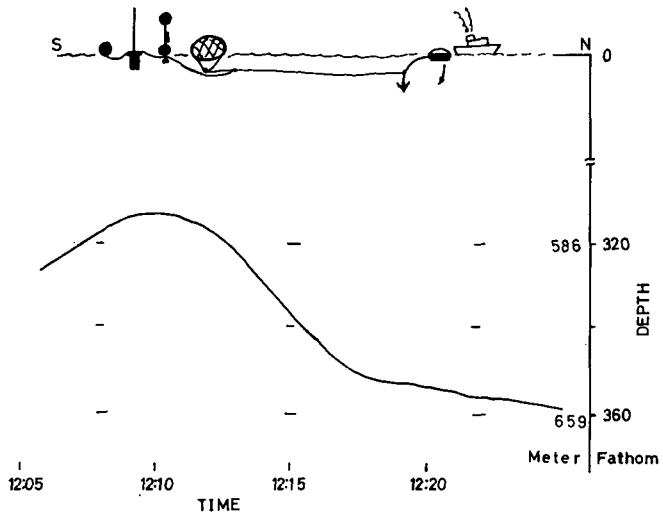
今回使用したロープシステムは第10図に示されている。このロープシステム²¹⁾は昨年北海道襟裳岬沖 (水深1,600 m) に設置した時のロープシステムを参考とした。今回 12 mm のナイロンロープを2重にしたのは、昨年使用したロープをそのまま用いたので、ロープが少々傷ついているため強度を強くするためにこの方法を用いた。

前述したように、この地震計は設置時の姿勢差に依らないので、地震計を海水中に自然落下させてもよい。したがって今回はソ連で行なわれていた方法を採用した。まず船からラヂオブイ、Reflector およびメインブイを落とし、ロープ全体が張るまで船を微速で走らせる。ロープが張った所で地震計を海中に



第10図 海底地震計設置浮標方式

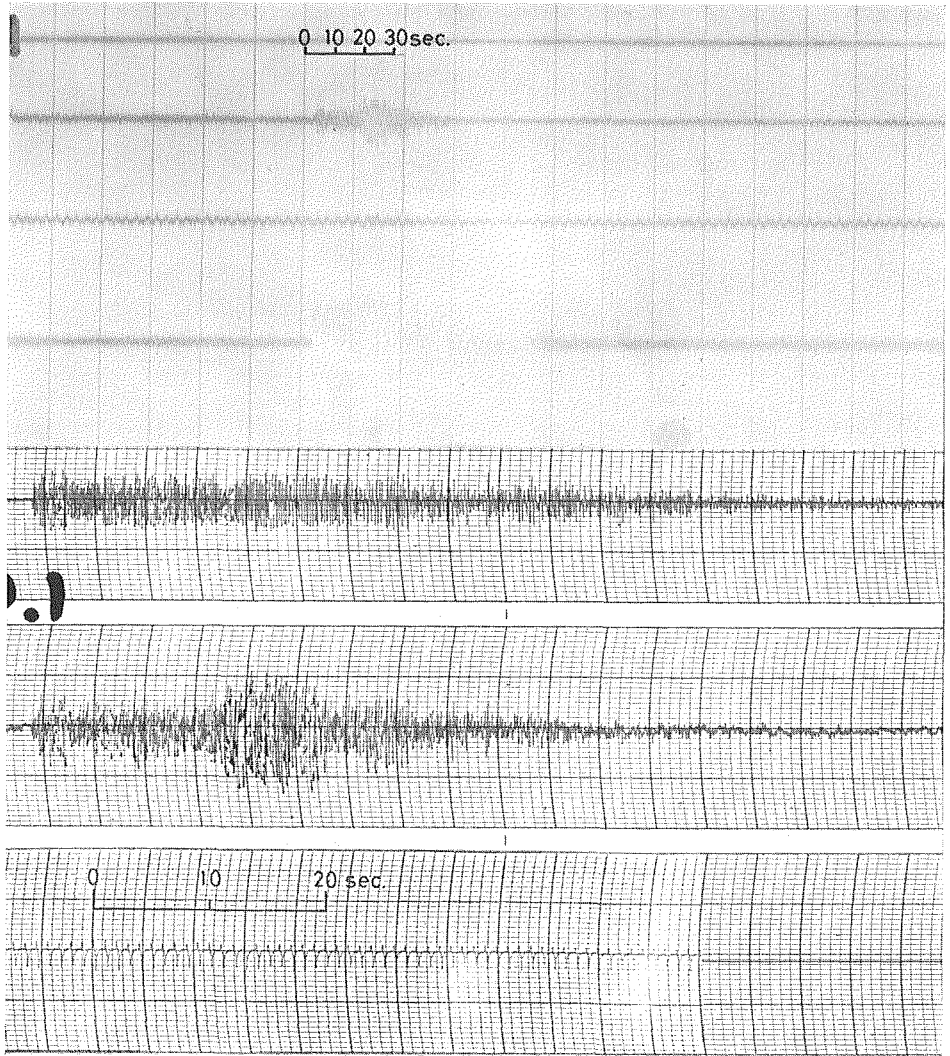
Fig. 10. The rope-buoy system for mooring O.B.S.-2.



第11図 相模湾における O.B.S.-2 の設置方法と海底地形

Fig. 11. Method of setting of O.B.S.-2 and the topography of ocean bottom.

21) 坂尻直巳・堀田 宏・田 望.



第12図 記録の例

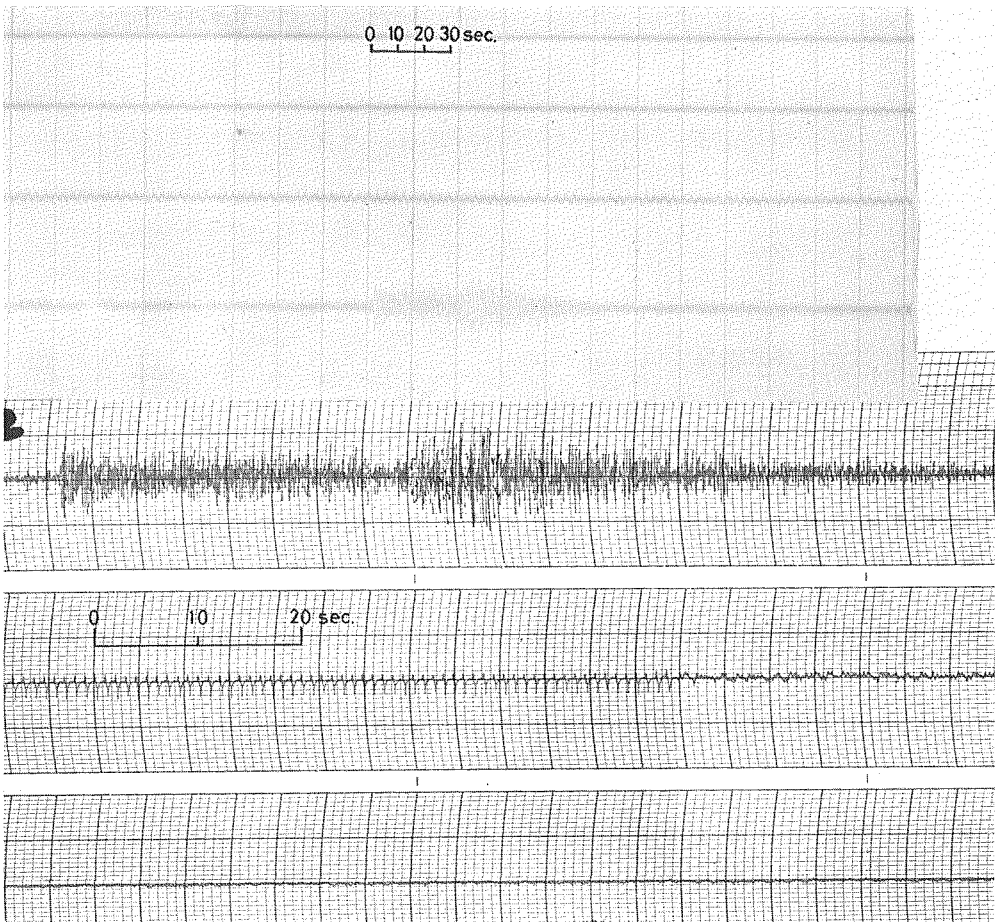
Fig. 12. An example of the record.

落す。この方法だとブイを落してから地震計を落すまで12分しかかからず作業のスピードアップに役立つ。船上でブイ、ロープ、地震計をつなぐのに要する時間も含めて3時間程で終る。

第11図に設置方法とその時の海底地形図が示されている。最初のブイを放してから地震計が落されるまでに要した時間はわずか12分であった。

3.3 記 録

第12図、第13図に観測された記録の1部が示されている。今回の観測で記録された地震は11個あり、P-S時間のはっきり読めるものは5個で、最大32.7 secで残りは全部14秒から19秒までであった。第12図に示されている地震のP-S時間は16.29秒、第13図は32.7秒で



第13図 記録の例

Fig. 13. Another example of the record.

ある。なお第12図、第13図ともに上の記録はビジグラフで再生したものであり、下の記録は一度データレコーダーでコピーをし、さらにそれをペンレコーダーで再生したものである。

4. む す び

今までに第1号機と第2号機を試作してきたが、テープレコーダー、増幅器および換振器部は充分実用に耐え得るものと思われる。しかし相模湾での観測の際、時計回路が故障したことは大変残念であった。もう一度研究し直す必要がある。

今後、換振器をもう少し長周期(1 Hz程度)にできないか、またロープを使わないで地震計本体を自動浮上型にすることなどを研究する余地がある。

5. 謝 辞

海底地震計の設計、製作に当り、始終御指導いただいた東京大学地震研究所南雲昭三郎教授および同研究室の方々、東京大学理学部地球物理学教室の浅田敏教授、島村英紀氏に深く感謝致します。また地震計の設置に当り北海道襟裳岬沖、積丹沖では大洋漁業第17関丸の長田昭二船長および甲板員の方々、相模湾では東京大学海洋研究所の小林和男助教授、淡青丸の上之一等航海士、田中二等航海士および甲板員の方々に適切な御助言をいただいたことを感謝致します。

12. A Test Production of Ocean-Bottom Seismograph

By Naomi SAKAJIRI

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

In 1969, underwater explosions were planned off the coast of Erimo Peninsula and off the coast of Shyakotan Peninsula, Hokkaido. The observation of explosions was planned by using a Ocean-Bottom Seismograph (O.B.S.). After a test production of O.B.S., the present author set it at that place. But the first observation off the coast of Erimo Peninsula was unsuccessful, because of the contact between the frame of pressure vessel and the wire of electric network. The second observation off the coast of Shyakotan Peninsula could not record the ground waves.

In 1970, O.B.S.-2 was made, it was basing on O.B.S.-1, to observe explosions as well as earthquakes. In August the instrument was set in Sagami Bay by TANSEI-MARU of the Institute of the Ocean Research of the University of Tokyo and it could record eleven earthquakes. Five earthquakes of them could record clearly P-S interval time.

O.B.S. consists of a pressure vessel, a geophone for vertical component, a tape recorder, amplifiers, a crystal clock and batteries.

Details of O.B.S. are as follows:

Pressure vessel; it has 820 mm-inside length, 160 mm-inside diameter and 68 kg weight, and is 2,000 m water proof.

Geophone (GEOSPACE, GSC 8D MODEL L-4B); the natural frequency is 4.5 Hz and the coil resistance is 1,350 ohms. It is suspended by a two-axial gimbal to keep it vertical.

Tape recorder; Tape speed is 0.25 mm/s, using 5-inch tape reels (tape length, 370 m). The 4-channel direct recording method is adopted.

Amplifiers; The amplifier system consists of one pre-amplifier, three attenuators and three main amplifiers having various gains. The maximum gain is 85 db, median gain is 61 db and the minimum gain is 37 db.

Crystal clock; Time signals of seconds, minutes and hours are taken out from

a SEIKO 952 TF 7. The signal for second is a 200 ms width pulse. The signal for minute is 40 ms width pulse and is superposed on the pulse for seconds. The signal for hour is repetitions of 40 ms width pulses for one minute.

Batteries; Two 6 V-batteries (8 Ah) for the tape recorder and three 6 V-batteries (3.5 Ah) for the amplifiers and the crystal clock.

The recorded tape is played back by using an ordinary audio tape recorder, the mechanism of which is modified for this purpose. To locate the recorded events on the tape, visible traces are recorded optically with a monitor system. The original tape is once transcribed to another tape in the speed ratio of 1:171, then the latter is played back at the speed reduced to 1/16. The output signals are recorded with a pen recorder at the speed 10.7 times the original record. The signal-to-noise ratio of the observation-playback system is greater than 34 db.