

24. 自己浮上式海底地震計 (ERI 型 P-79)

地震研究所 { 笠原 順 三
 { 是 沢 定 之
 { 南 雲 昭 三 郎
 { 大 工 原 保
 { 原 智 美
 { 安 藤 誠 一

(昭和 54 年 8 月 25 日受理)

1. はじめに

地震研究所においては、1970 年以來自己浮上式海底地震計 (Pop-up OBS) をいくつか試みてきた (笠原他 a, b, 1974; 南雲他, 1977). そしてそれらを用いて観測を行ってきた。しかしこれらの試作品には、それに用いた切離し装置の信頼度があまり高くないこと、切離し装置自体が高価なこと、海底地震計全体が底層流に起因すると思われる雑音を出すこと、遠地震や長距離人工地震の観測のためには地震計の固有周波数をもう少し下げた方が良好だろう、などいくつかの改善すべき箇所が見つかった。そこで、安くて安全性の高い切離し装置を開発すると同時に全システムを新たに設計した。同じ型の海底地震計を使って群列観測ができるように小型、低価格にした。

自己浮上式海底地震計は、近年その重要性が非常に高くなってきた。その主な理由は、小型で容易に多点を設置できるので群列観測ができることである。またこの利点は長距離人工地震観測にも生かすことができる。アンカード・ブイ式海底地震計にくらべて自己浮上式海底地震計の一般的特徴および欠点はいくつかの文献にすでに述べられている (例えば、南雲, 1972; 笠原他, 1974a; 笠原, 1978)。また諸外国の自己浮上式海底地震計についても、それぞれの研究者・研究機関からの報告がでている (ARNETT and NEWHOUSE, 1965; 笠原他, 1974a; FRANCIS and PORTER, 1977; HEFFLER and LOCKE, 1977; JOHNSON R. V. *et al.*, 1977; JOHNSON S. H. *et al.*, 1977; LANGFORD *et al.*, 1977; MATTABONI and SOLOMON, 1977; McDONALD *et al.*, 1977; PROTHERO, 1977; SUTTON *et al.*, 1977; AVEDIK *et al.*, 1978; IBRAHIM and LATHAM, 1978)。地震研究所による経験と上述の諸外国の海底地震計を参考にして新型の設計を行った。

記録方式は近年デジタル方式が用いられるようになったが (BLANKINTON and ODEGARD, 1977; BOOKBINDER *et al.*, 1978; PROTHERO, 1979), 多数の自然地震の集録という面では非常に不利であり、長距離爆破観測ではタイム・ゲートやデジタル・トリガーは極めて困難である* ので、従来からのアナログ直接記録 (DAR) 方式による連続記録 (約 15 日間)

* 投入前に設置したタイム・ゲートに対して適切な爆破時間を保つことは、ヒューズ長、海況、作業状況等の要素のために非常にむづかしい。また、雑音レベルとの比によるトリガー式では、距離 1000 km 以上での屈折波のように、もともと S/N が 1~2 と低いデータを集録したいときには役に立たない。

にすることにした。

本報告は、地震研究所で開発した新型自己浮上式海底地震計 (P-79) の概要を述べ、底層流による雑音について若干の議論をしたものである。

2. 記録システム

2-1. センサー

センサーとして地震計とハイドロフォンの2種類を併用した。

地震計としては、従来用いていた固有周波数 4.5 Hz のものを 2 Hz に変えた (Mark Product モデル L-22 E)。この地震計は海底地震計内部へ入れるのに充分小型である。コイル抵抗 8.54 k Ω のものを用いることにより、速度感度は 1.69 V cm⁻¹ sec と良くなった。上下、水平各 1 成分ずつ用い、これをジンバルにマウントした。

ジンバルはスリッパ・リングを使わず、リード線で地震計の出力を外部端子へ引き出した。またリングングをさけるために 10⁴ ボアズのシリコン・オイルの中に浸けた。ジンバ

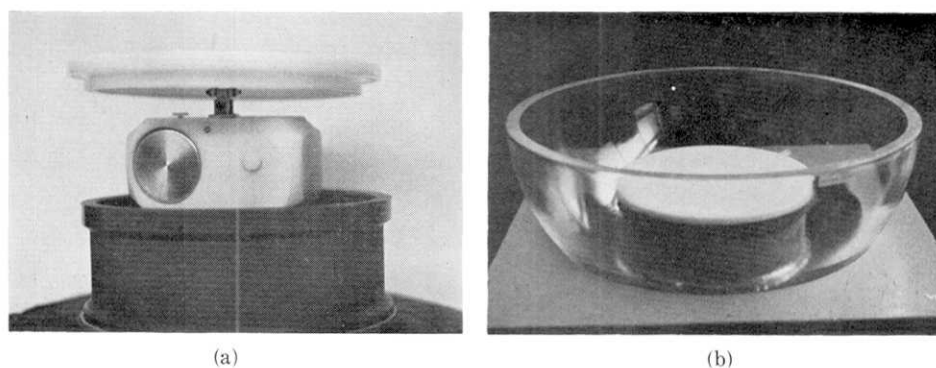


Fig. 1. Gimbal. (a), Gimbal with 2 Hz horizontal and vertical geophones and outside case; (b) gimbal mounted on the bottom of a glass hemisphere.

ルをガラス球の最下部に取付けるために Fig. 1 の型にした。このジンバルは約 $\pm 25^\circ$ の角度まで水平・垂直を保つことができる。

2 Hz の地震計に加えて、深海用ハイドロフォン (OAS モデル E-22 D) を新たに追加した (感度, 450 μ V Pa⁻¹)。これは約 100 km までの距離での水中音波を受信するのに用いる。ハイドロフォンの低周波成分は P 波に対しても地震計と同程度の S/N で用いることがコロンビア大学の海底地震計の結果 (SUTTON *et al.*, 1970) などで知られている。大西洋の海底地震計では、4.5 Hz 地震計のハイパス整流成分も充分水中音波をとらえることができた (KASAHARA *et al.*, 1975)。しかし、圧力センサー型の信号も重要であるのでこの海底地震計にはハイドロフォンを用いることにした。ハイドロフォンは海底地震計のハード・ハット下部に取付け、その出力をガラス球の電極を通してガラス球内部の増幅器へ入力した。

2-2. 増幅器とバイアス・オシレーター

増幅器, バイアス・オシレーター, モーター電源は1つのプリント基盤上にある (Fig. 2). 増幅器は, 上下動, 水平動, ハイドロフォンの各1チャンネルと時間信号用バッファ増幅器の計4入力を持っている. 一方, 出力は上下動低感度 (V_L), 上下動高感度 (V_H), 水平動 (HOZ), ハイドロフォン (HYD), 時間信号の5チャンネルである. 出力端子を選

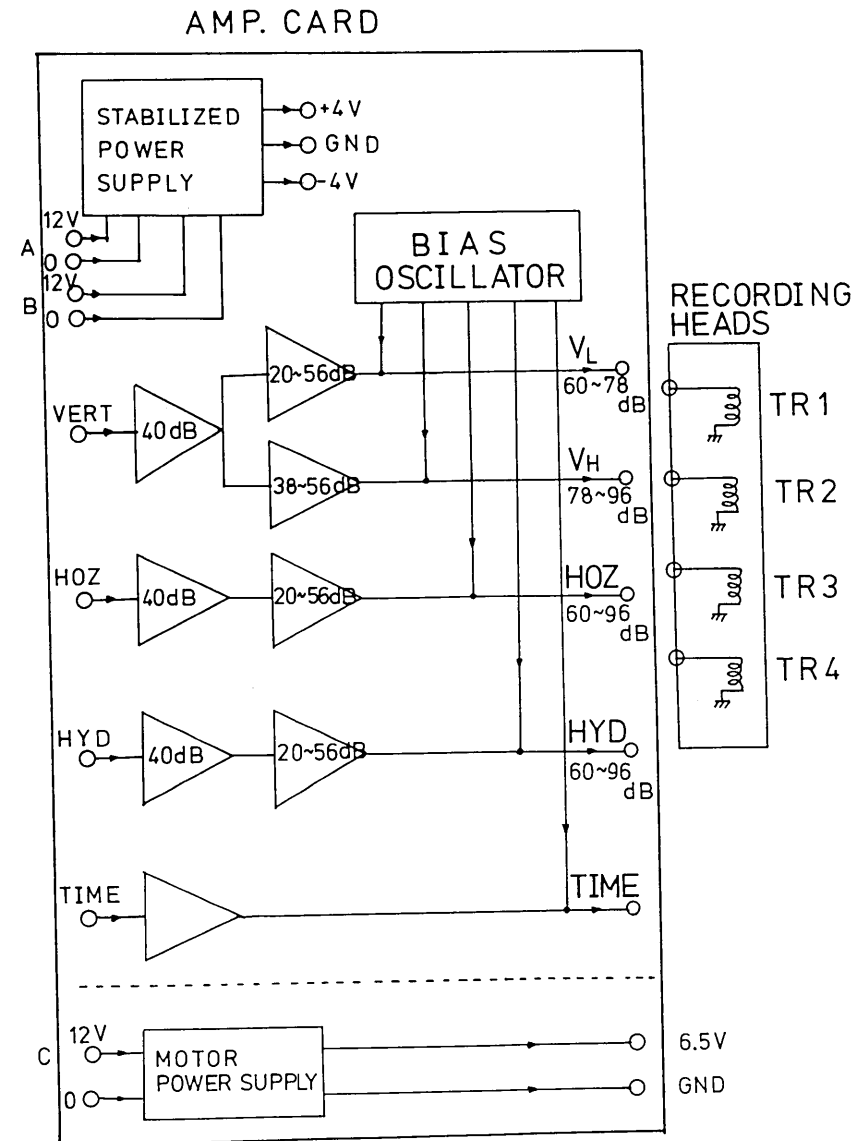


Fig. 2. Block diagram of an amplifier card containing amplifiers, bias oscillator, power supply.

扱することにより、これらから4つを選び記録計ヘッドへ入力する。増幅率は V_L が 60~78 dB, V_H が 78~96 dB, *HOZ* と *HYD* は共に 60~96 dB で、それぞれ 6 dB ステップで増幅率を選択できる。小型化と低消費電力化のために部品を選択した。低消費電力オペ・アンプと低消費電力型ツェナー・ダイオード、低雑音オペアンプを用いた。入力段には入力換算雑音 $0.2 \mu\text{Vpp}$, 低ドリフト、低オフセットという特徴をもつ OP-07 を用いた。

バイアス・オシレーターは従来回路 (笠原他, 1974b) の IC を変更した他は基本的に同じ回路である。モーター電源としては、低消費電力型安定化電源回路を用いた。もともとモーターへの負荷変動が非常に小さいので、周波数サーボを用いるよりもモーターへの供給電圧を一定にしてやった方が良い結果が得られた。

アンプ・カードの全消費電力は 2 mA, $\pm 7.5 \text{ V}$ と 13 mA, 12 V である。

2-3. 記録計

記録計には、低ワウ・フラッターのカセット・デッキ (アルプス FHA-3 型) を用いた。デッキ自体のワウ・フラッターは 0.1% 以下 (JIS) であるが、DC モーターを低回転 (5 RPM) のものと交換した結果全体のワウ・フラッターは約 0.3% になった。記録ヘッドは4トラックのものを用いた。増幅器の5出力のうち4つを選択して記録する。テープ走向速度は通常のカセット速度の約 $1/360$ ($=0.132 \text{ mm/sec}$) であり、C-120 のテープを用いることにより約 15 日間の記録をとることができる。カセット・テープは BASF-CrO₂-C-120 を用いる。増幅器と記録計を合せた録音再生特性を Fig. 3 に示した (再生は TEAC, R-70 A による)。図からわかるように、1~30 Hz (-6 dB) の信号を記録すること

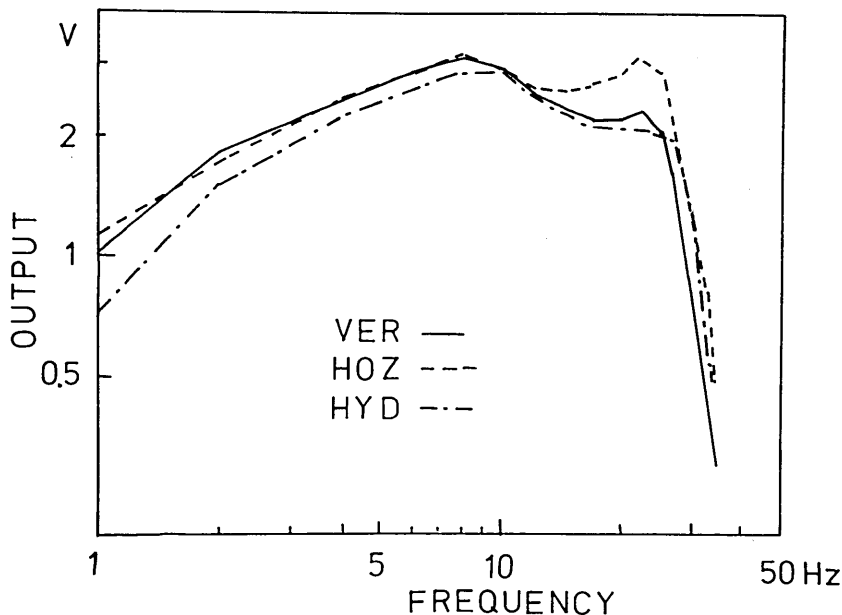


Fig. 3. Overall recording/playback frequency characteristics of amplifier and recorder. $1.259 \times 10^{-4} \text{ Vpp}$ input for amplifier, 78 dB amplification.

ができる。メタル・テープを使用すると 40 Hz までも記録可能になるが、現在市販のテープが C-60 までしかないので有利ではない。記録計は、プラスチック・ケースの中に入れ、更にその周囲を厚さ 20 mm のウレタン・フォームで包むことによって、モーターから発生する 40~80 Hz の雑音を実用上問題がない程度まで軽減できた。

2-4. 水晶時計

水晶時計は、C-MOS を用いて自作した従来の回路 (笠原他, 1973) を多少変更した。出力は BCD 直列コードである。水晶発振器は 0~40°C の範囲で 5×10^{-7} の確度のものを用いた。この水晶の発振周波数は 8 MHz であり、サーミスターにより温度保障を行う TCXO 型である。低消費電力化によって時計全体で 35 mW の消費電力におさえた。4 Hz を出力する水晶発振器とタイム・コード基盤とは別々になっている。アンプ基盤と水晶基盤、タイム・コード基盤は同じ横幅で上下 2 層になりカード・ケージに入っている。各カードはタイ・ラップによりカード・ケージに固定する。

2-5. 雑音

自己浮上式海底地震計には 3 種類の雑音が存在する。1 つはモーターの発生する雑音であり、1 つは底層流によって起こされる雑音であり、残る 1 つは海洋底に存在する脈動などの海底の雑音である。前 2 者はできるだけ軽減しなければならないが、そのうち底層流による雑音は正確な状況がつかめないだけに困難な問題である。

モーターによる雑音は、供給電圧によって振幅、周波数共に変化する。供給電圧が高くなると周波数、振幅共に大きくなる。あまり電圧を低くするとトルクが落ちたり、接点ブラシに酸化膜ができるために途中で止まることがあるので、ある程度高くしなければならない。あまり大きな雑音振幅だとたとえ記録計の録音特性外であっても増幅器で飽和してしまい、雑音の周波数は約 40~80 Hz と変化し、これは記録計をウレタン・フォームで包むことにより実際上害がないまで下げられることがわかった。そこで記録計をプラスチック・ケースへ入れると共に、厚さ 20 mm のウレタン・フォームで包んだ。ウレタン・フォームは 40~80 Hz の振動に対して効果がある。またモーター供給電圧も 6.5 V とした。記録計と地震計はできるだけ離れた。

他の 1 つの雑音は底層流によって起こされると考えられているものである。これは自己浮上型で著しい。北海道沖の海底地震観測ではその振幅は時間により 100 倍も変化した (KASAHARA and HARVEY, 1976)。マリアナ海盆、東太平洋の自己浮上型にも同様な現象がみられた。北海道沖では、そのスペクトルは 3.3 Hz であり、約 1 日の周期をもっていた。BRADNER *et al.* (1965) は、彼等の海底地震計に観測された 2 Hz の振動のピークは、アンテナ周囲のカルマン渦 (Kármán Vortex) によって起こったと考えた。新型 OBS に対してカルマン渦による振動の可能性を検討してみる。

渦が起り易いかどうかの目安になるレイノルズ数 (Reynolds number, Re) は

$$Re = \frac{Vl}{\nu} \quad (1)$$

で与えられる。ただし V は流速 (cm/s), l は代表的長さ (cm), ν は動粘性係数 (cm²/s)。 ν は次式で表わされる。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

μ は粘性係数 ($\text{g/cm}\cdot\text{s}$), ρ は密度 (g/cm^3). 例えば, 0°C のときの水の粘性係数は $\mu=0.0178 \text{ g/cm}\cdot\text{s}$ であるので, $\rho=1.0 \text{ g/cm}^3$ としたとき, $\nu=0.0178 \text{ cm}^2/\text{s}$ となる. アンテナの直径を 0.5 cm , ハード・ハットの直径を 50 cm として流速を $1\sim 50 \text{ cm/s}$ と変化し

Table 1. Reynolds number for antenna and hard-hat

V	l	
	0.5 cm	50 cm
1 cm/s	3×10	3×10^3
10 cm/s	3×10^2	3×10^4
50 cm/s	1.5×10^3	1.5×10^5

たときのレイノルズ数は Table 1 のようになる. 臨界レイノルズ数は $10^3\sim 10^4$ であるので, 流速が $10\sim 50 \text{ cm/s}$ もあるとカルマン渦乱流になるであろう. 特にハード・ハット周辺では, 強いカルマン渦ができるであろう. これに対しアンテナ周辺では比較的弱いカルマン渦ができるであろう.

一方, カルマン渦によって起こされる振動の周波数 f は, エオルス音 (Aeoline tone) として古くから知られ

$$f = \frac{StV}{d} = \frac{V}{d} \times 0.195 \left(1 - \frac{20.1}{Re} \right) \quad (3)$$

と表わされる (例えば, LAMB, 1932). d は直径 (cm), St はストローハル数 (Strouhal number) である. これによって試算してみると Table 2 のように, アンテナ (直径 0.625 cm)

Table 2. Frequency produced by Kármán vortex for various diameter and various velocities

V	d		
	0.625 cm	3.81 cm	50 cm
	(Hz)	(Hz)	(Hz)
1 cm/s	0.32	0.052	0.004
10 cm/s	3.2	0.52	0.04
50 cm/s	16	2.60	0.2

周囲では流速が $10\sim 50 \text{ cm}$ に対して $3.2 \text{ Hz}\sim 16 \text{ Hz}$ と地震計の記録帯域に入ってくる. 一方, 大きなレイノルズ数を持ったハード・ハットは, ずっと低周波で実際上問題がないようである. $d=3.81 \text{ cm}$ はラジオ・ビーコンやフラッシュ・ライトの直径であり流速が大きいときにこれも問題になる.

より正確なことは水そう実験などで確かめてみる必要があるであろう.

3. 切離システム

3-1. タイマー回路と耐圧容器

海底地震計を海面へ浮上させる方法として, 音響呼出し切離し (Acoustic Command Release) と時限式切離し (Time Release) の2種類あるが, 前者は後者にくらべ高価で

あり、小型の既成品がないこと、日本ではあまり使われていないなどの難点がある。後者は、船が回収地点に行けないとか、海況が悪く回収作業を行えないようなときでも、設定時間がくると浮上してしまう欠点がある。しかし回路が比較的簡単であり、安価にできるので時限式切離し装置を用いた。

切離しに用いる方式としては、火薬、爆発ボルト、ワイヤー・カッター、真空、モーター、磁気などがあるが、いずれも一長一短がある。火薬、爆発ボルト、ワイヤー・カッター方式はその取扱いに危険性がつきまとう。真空式は、わずかな負圧でも中に残っていると離れないという欠点を持っている。また、いずれの方式も維持費が高くつく。一方、電蝕法 (Electrical Corrosion) では、電蝕に用いるワイヤーが主消耗品であり、非常に安価であるし、取扱いに危険性が全くない。電蝕法を用いる可能性を、電流を流さねば腐蝕しない材質、線の手に入りやすさ、線径を変えたときに必要な電圧・電流値、などの面から検討した結果、0.5 mm 径のステンレス線を用いることにした。この線は電圧 12 V で約 2~3 分で完全に切断され、電流を流さねば腐蝕せず、使用可能であることがわかった。

タイマー回路のブロック図を Fig. 4 に示した。タイマーは最大 9,999 時間まで 1 時

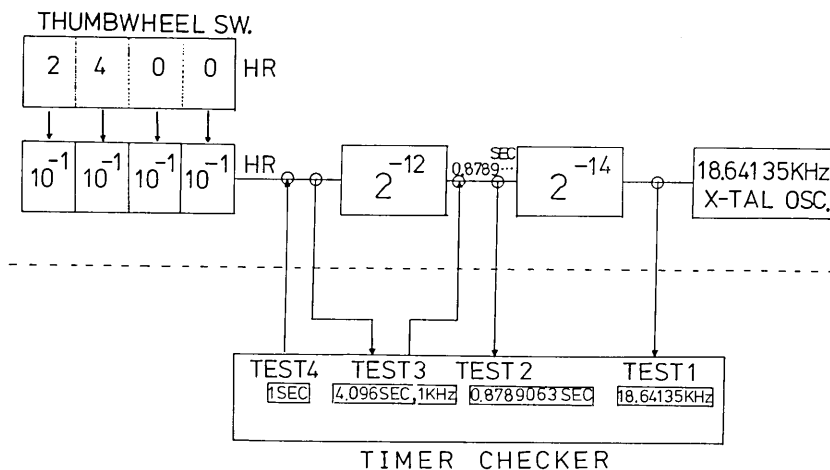


Fig. 4. Block diagram of time release electronics card and timer checker. Timer checker can test, (1) original frequency, (2) 2^{-14} counter output, (3) 2^{-12} counter in/out, (4) quick test using 1 Hz pulse instead of 1 Hr pulse and (5) firing test by LED.

間毎に設定できる。誤動作を防ぐために、タイマー専用の試験器を設け、タイマー中の RUN-TEST SW を TEST に切変えることにより、原発振、分周、1時間を1秒に短縮した (実時間の1/3600) 早送り試験、ができる。設定時間がくると LED が点灯する。このタイマーは 0.5 mm 径のステンレス線の電蝕に必要な 300 mA を流すことができる。電蝕時間は、負側の表面積、ステンレス線と負電極板間の間かく、線径、電圧とに左右される。制作した切離し装置は 12 V 電源のとき 2 分 30 秒で切断される。電池はアルカリ電池を 8 本用い、ゲートは 1 時間開いている。これは切断に充分な時間である。

タイマーのプリント基板と電池とは外径 55 mm、内径 40 mm、内長 290 mm、外長 320

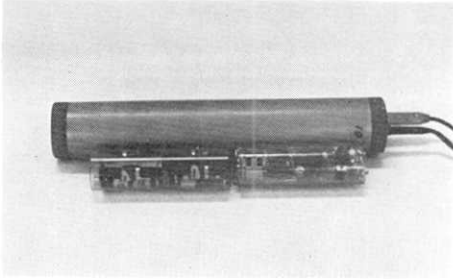


Fig. 5. Outside view of timer electronics and pressure case.

mm のアルミ円筒容器に入れられ (Fig. 5), 水中コネクタを通してステンレス線につながる. アルミ円筒容器には 2024-T3 アルミパイプ, 円筒容器のふたの部分には 2017-T4 アルミ丸棒を加工し用いた. 耐圧は 8000 m である. 耐圧容器は海水中の電蝕を防ぐために厚さ $80 \mu\text{m}$ の硬質アルマイト処理をした. この厚さは通常の 10 倍であり, 電蝕ばかりでなく取扱い上も傷がつきにくい.

3-2. 切離し装置の機構部

この機構部は特に考案したものである. 自己浮上式では, 切離し装置が正常に動作しないとせっかく観測を行っても全てが無駄になってしまう. 回収の安全性を高めるため, タイマー回路は独立な 2 台を用いる. タイマーはそれぞれ独立なステンレス線へつながり, これが 1 つの機構部 (回転レバー板) を固定している. 機構部の主要部分は捨てないで回収する. また浮力を押えガラス球を重りにしっかり固定する必要がある.

切離し装置の機構部を Fig. 6 に示した. “てこ”を用い, その支点は OBS ハード・

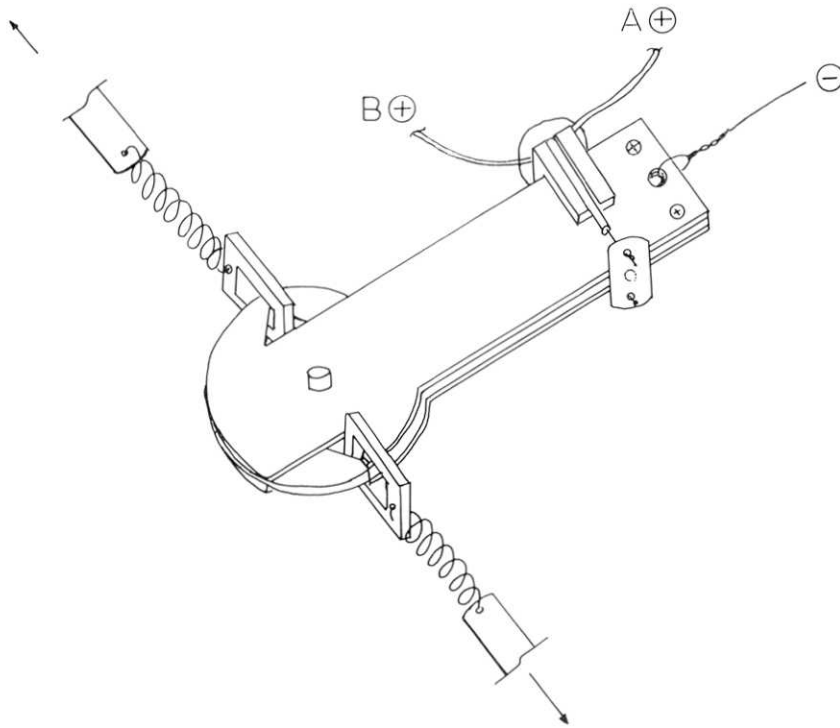
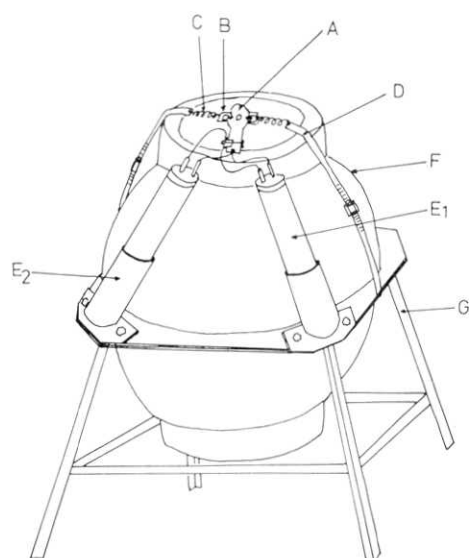
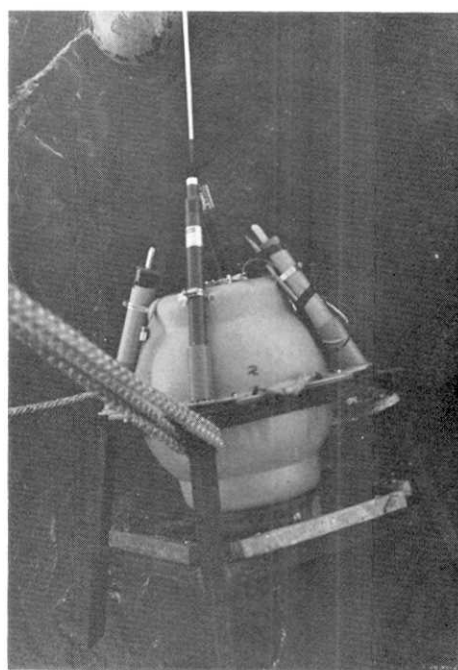


Fig. 6. Release mechanical part. A and B connect to positive out of A and B timers.



(a)



(b)

Fig. 7. P-79 package. (a). Schematic. A: release mechanical part, B: release link, C: tension spring, D: tension band, E: release timer, F: hard hat, G: bottom coupler/ballast weight. (b). View of whole P-79 at deployment.

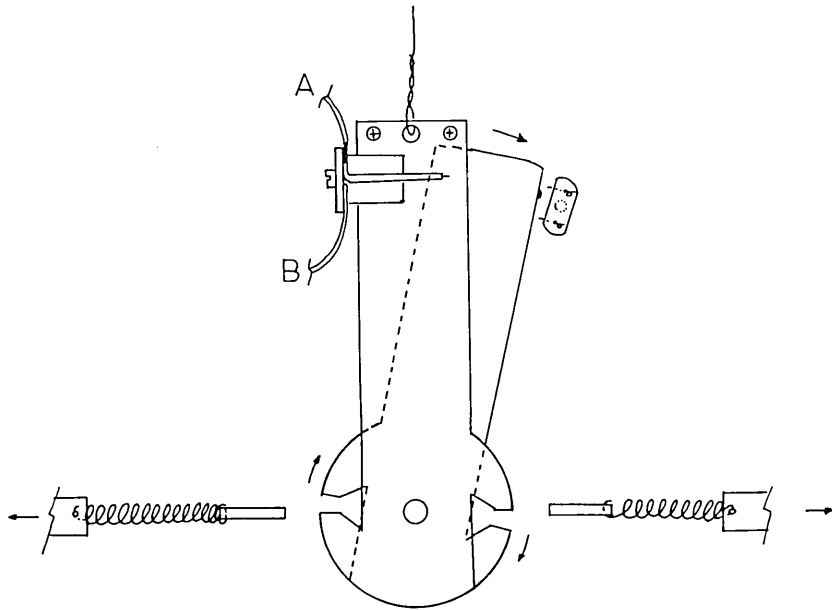


Fig. 8. Released state by corroded wire separation.

ハット頂上に固定してある (Fig. 7). スプリング (C) および 2 本のステンレス・バンド (D) でリリース・メカ (A) に直角に 2 方向へ引張り、架台 (G) に固定している. この引張りの力の約 1/10 が直径 0.5 mm のステンレス線にかかる. 独立な 2 本のステンレス線のいずれが切れても、シーソー板がシーソー運動を起こして固定部からはずれ、回転レバーが回転する (Fig. 8).

2 個のタイマーは独立に時間をセットできる. タイマー出力の (+) 側はステンレス線, (-) 側はステンレス回転レバー板, 固定レバー板につながっている. 電流が流れないときは、共に腐蝕しない. 前述のように直径 0.5 mm のステンレス線は約 2 分 30 秒で切断する. この時間は、6000 m からの場合浮上にかかる時間が約 2 時間 30 分なのでそれ程問題にならない.

1 回の設置によって消耗する部品は、単 3 電池 8 個、ステンレス・バンドとスプリング、リリース・リンク金具各 2 個、ステンレス線等であり、約 2,000 円と安価である.

4. 組立てと浮上試験

4-1. 地震計用耐圧容器

自己浮上式海底地震計では浮力が必要である. 浮力を得る方法としては、耐圧容器をアルミ球かガラス球にする方法がある. その他に、シタクティック・フォーム等の浮力材を耐圧容器に付加する方法がある. 米国の海底地震計はほとんどアルミ球を用いている. 日本でアルミ球を作ることは技術的に可能であり、アルミ球はガラスにくらべ破損しにくいという長所をもっているが、難点は価格でガラス球のそれの約 7 倍もする. シタクティック・フォームも高価であり、全体の体積も大きくなり雑音に関して難点がある.

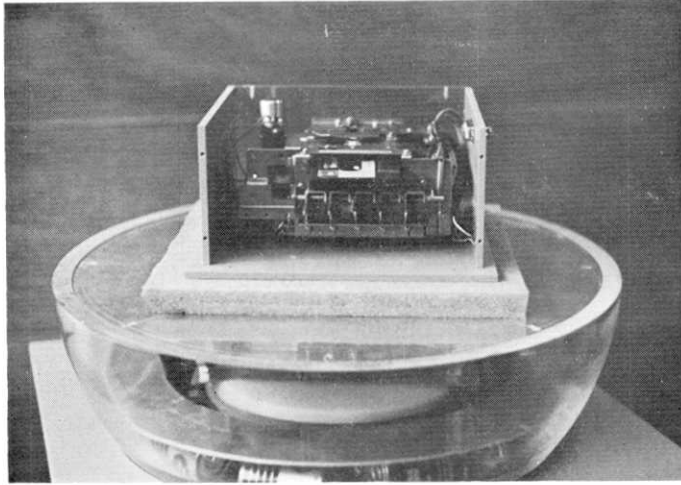


Fig. 9. Outside view of OBS hemisphere.

ERI 型自己浮上式海底地震計では全体を低価格にするためにガラス球を用いた。

ガラス球には直径 43.2 cm (17 インチ) のものを用いた (Fig. 9)。このガラス球の内径は 40.4 cm であり、水中で 25.4 kg の浮力をもっている。耐圧は 7,500 m まであり、ほとんどの海底、海盆での使用にとって実際問題には少ない。このガラス球には電極が 2 本ついていて、ハイドロフォンの入力を外部から入れることができる。ガラス球は透明なので内部が観察でき、実際上便利である。ガラス球を保護するためにプラスチック製ハード・ハットを用いた。ハード・ハット底部には、浮上時の姿勢安定のための重さ 2.5 kg の鉛円板とハイドロフォンが着いている。

4-2. 架台とパラスト

ハード・ハットに入ったガラス球と、切離し装置機構部とはステンレス・バンドで鉄製

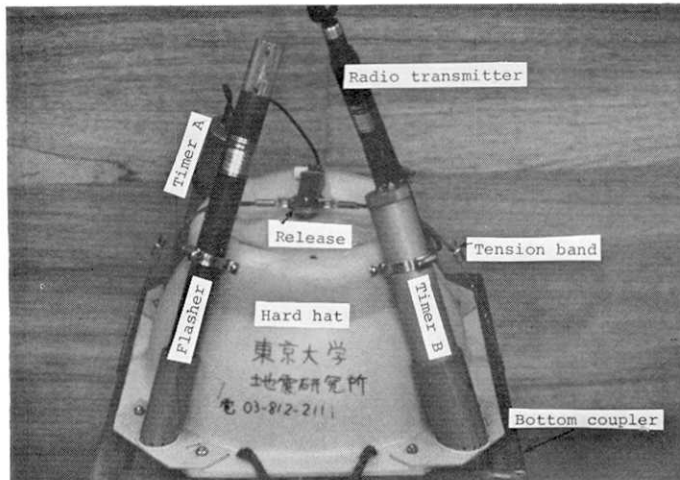


Fig. 10. Upper view of P-79.

架台に固定する (Fig. 10). 架台には 4 本の鉛バラスト (各 8 kg) が取付けてあり (Fig. 7b), 海底地震計の海底とのカップリングを増すようにしてある. 浮上側 (ハード・ハットとガラス球) が水中で浮力 8 kg 持っているので, 沈降時および海底では全システムの残有重量は約 30 kg になる. 着底の瞬間の衝撃を柔らげるためには架台とバラスト重量は小さくしなければならず, 海底とのカップリングを良くするためには大きくしなければならない. 経験的な沈降速度は 1.5 m/s であり, この程度は堆積物でおおわれた海底へは問題のない速度であろう. しかし, 露岩の出ている場所では注意を要する.

4-3. 発見システム

浮上時の発見のためには, フラッシャー, ラジオ・トランスミッターが必要である. これには従来から用いてきた深海用の市販品を用いる (OAR SF-500, OAR ST-200). トランスミッターの周波数は 27 MHz であり, この周波数だとアンテナも短くて良い. 低層流による雑音を防ぐためにはできるだけ余分なものが付いていない方が良い. 発見の安全性を考慮するとフラッシャーやトランスミッターは何本もあった方が良い. 結局, 雑音と空間的余裕とのかねあいから各 1 本を取付けた. どちらも正常に働けば発見は容易である.

5. 浮上試験と記録試験

切離し装置が自己浮上式海底地震計のもっとも重要な部分であるので, タイマーだけの試験, および切離し装置をつけて人工海水中での試験をくり返した. 実際の海底からの浮上試験は東京水産大学青鷹丸により水深 40 m の海底からではあったが, 3 台の海底地震計を浮上させ成功した (Fig. 11). 設置には約 5 分を要した. 約 20 時間の設定時間をとり, 浮上時間は予定通りで, 切離しに要した時間は 2 分 30 秒であった. 風速 15 m~20 m と海上の状況は悪かったが, 発見から回収までわずか 5~10 分で行うことができた. 浮上時の姿勢も安定していた.

水深 1400 m において, 切離し装置だけの試験を行い満足のいくものであった. タイマー用の耐圧容器は高圧水槽で 600 気圧までの加圧を行ったが, 全く問題がなかった.

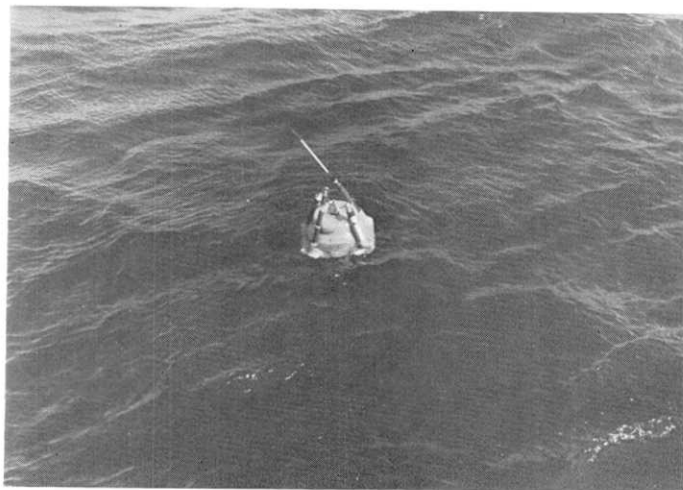


Fig. 11. Poped-up P-79 on sea surface.

海底で実際に記録をとる機会がまだないが、地震研究所の深さ 3 m の水そう中で試験記録をとった。結果には特別な共振などなく良好な記録がとれていた。

将来同一の海底地震計を製作し、20 台程度による群列アレー観測をやってゆきたい。

謝 辞

本研究は文部省科学研究費試験研究，地震研究所プロジェクト研究，地震研究所予備費によって行いました。切離しの試験に際し援助下さった当研究所の松本滋夫技官，青鷹丸による切離し試験に御協力下さった東京水産大学石野誠教授，青鷹丸船長磯打勉氏，および乗組員の方々に感謝いたします。

Appendix

System specifications

1. *General*

Non-balasted
net buoyancy: 10 kg

2. *Pressure Case*

Diameter: 43.2 cm (OD), 40.4 cm (ID)
Net buoyancy: 25.4 kg in water
Weight: 17.7 kg in air
Material: Low expansion borosilicate
Manufacturer: Benthos Inc.

3. *Ballast*

Material: Lead
Weight: 32 kg
Ballast and bottom
coupler weight: 40 kg in water

4. *Instrumentation*

Geophone
Type: 1 vertical and 1 horizontal
Mark Product L-22E
Natural frequency: 2 Hz
Coil resistance: 8540 ohms
Sensitivity: 1.69 V cm⁻¹ sec
Geophone leveling: Mechanical gimbal with 10⁴ poise silicon oil

Hydrophone

Type: OAS E-2SD
Response: DC to 5 kHz
Sensitivity: 450 μ V Pa⁻¹
Impedance: 12 nF
Depth: unlimited

Tape recorder

Type of recording: Direct Analog
Tape used: BASF CrO₂ C-120
Number of channel: 4

Recording speed:	0.132 mm·s ⁻¹
Tape duration:	15 days (360 Hrs) (for C-120 tape)
Frequency response:	1-30 Hz (-6 dB)
Recording deck:	Alps FHA3 (DIN specification) cassette deck
Wow-flatter:	0.3%
Bias frequency:	1 kHz

Batteries

Type:	Alkaline D cells
Number:	34
Life:	more than 30 days

Amplifier

Channel:	4 (V_L , V_H , HOZ , HYD) selectable gain amplifier and one (TIME) buffer amplifier
Gain:	7 positions from 60 dB to 96 dB by 6 dB step
Frequency characteristics:	1 Hz to 100 Hz (-6 dB)
Input noise:	0.2 μ V (rms)
Power consumption:	2 mA, ± 7.5 V for amplifier, 13 mA, 12 V for DC motor;

Clock

IC:	all C-MOS
Out put:	serial BCD time code
Power consumption:	35 mW
Precision:	less than $\pm 5 \times 10^{-7}$ (0-40°C)

5. *Release* (Dual electronics and one mechanical releasing part)

Method:	electrical corrosion of 0.5 mm stainless steel wire
Maximum set time:	9999 Hrs
Release pressure case:	55 mm (OD), 320 mm (length), 7.5 mm (thickness)
Pressure case material:	2024-T3 (Tube) and 2017-T4 (End cap)
Release batteries:	8 alkaline AA cells
Power consumption:	80 μ A for Timer, 300 mA for corrosion.
6. *Finding system*

Radio transmitter:	27 MHz OAR ST-200
Flasher:	OAR ST-500

文 献

- ARNETT, R. A., and T. W. NEWHOUSE, 1965, Ocean bottom seismograph, *Proc. IEEE*, 53, 1889-1905.
- AVEDIK, R., V. RENARD, D. BUISINE and J. CORNIC, 1978, Ocean bottom refraction seismograph (OBRS), *Marine Geophys. Res.*, 3, 357-379.
- BLANKINTON, J. G. and M. E. ODEGARD, 1977, An ocean bottom seismograph using digital telemetry, *IEEE Trans. Geosci., Electronics*, GE-15, No. 2, 74-82.
- BOOKBINDER, R. G., A. C. HUBBARD, W. G. McDONALD and P. W. POMEROY, 1978 Design of an ocean bottom seismometer with response from 25 Hz to 100 seconds, in *Oceans '78: "The Ocean Challenge"*, Marine Tech. Soc., Washington D. C., and the Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc., New York, 510-515.
- BRADNER, H., J. G. DODDS and R. E. FOULKS, 1965, Coherence measurements with time

- sampling ocean-bottom seismometers, *Proc. IEEE*, **53**, 1906-1908.
- FRANCIS, T. J. G. and I. T. PORTER, 1977, Experience gained with the blacknest ocean bottom seismograph, *Marine Geophys. Res.*, **3**, 143-150.
- HEFFLER, D. E. and D. R. LOCKE, 1977, A deep ocean release mechanism, *Marine Geophys. Res.*, **3**, 229-232.
- IBRAHIM, A. B. K. and G. V. LATHAM, 1978, A comparison between sonobuoy and ocean bottom seismograph data and crustal structure of the Texas shelf zone, *Geophysics*, **43**, 514-527.
- JOHNSON, II, R. V. R. CLIVE, B. LISTER and B. T. R. LEWIS, 1977, A direct recording ocean bottom seismometer, *Marine Geophys. Res.*, **3**, 65-85.
- JOHNSON, S. H., M. D. CANFORD, B. T. BROWN, J. F. BROWERS, R. E. McALLISTER, 1977, A free-fall direct-recording ocean bottom seismograph, *Marine Geophys. Res.*, **3**, 103-117.
- 笠原順三, 大内 徹, 柳沢馬住, 南雲昭三郎, 1973, C-MOS IC を使った低電力デジタルコーデイング/デジタル表示水晶時計およびタイマー, *地震* **2**, **26**, 294-300.
- 笠原順三, 是沢定之, 大内 徹, 南雲昭三郎, 1974a, 自由落下自己浮上方式海底地震計の開発, *地震研究所研究速報*, 第 13 号, 1-16.
- 笠原順三, 南雲昭三郎, 是沢定之, 大内 徹, 1974b, 海底地震計のための低消費電力増幅器とテープレコーダー, *地震* **2**, **27**, 75-77.
- KASAHARA, J., D. M. HUSSONG and G. H. SUTTON, 1975, Seismic refraction survey near the Mid-Atlantic ridge at 23°N (IPOS site 5) using ocean bottom seismograph, *EOS, Trans.*, **56**, 1064.
- KASAHARA, J. and R. R. HARVEY, 1976, Ocean bottom seismometer study of the Kuril trench area, *HIG report*, 76-9, 1-64.
- 笠原順三, 1978, 変動期を迎えた海底地震学, *自然*, 9 月号, 60-70.
- LAMB, H., 1932, *Hydrodynamics*, 6th edition, Cambridge Univ. Press, p. 680-681.
- LANGFORD, J. J. and R. B. WHITMARSH, 1977, Pop-up bottom seismic recorder (PUBS) of oceanographic sciences, U. K., *Marine Geophys. Res.*, **3**, 43-63.
- MATTABONI, P. J., and S. C. SOLOMON, 1977, MITOBS: A seismometer system for ocean-bottom earthquake studies, *Marine Geophys. Res.*, **3**, 87-109.
- MCDONALD, W. G., A. C. HUBBARD, R. G. BOOKBINDER and K. McCAMY, 1977, Design and shipboard operation of a multipurpose ocean bottom seismographs, *Marine Geophys. Res.*, **3**, 179-196.
- 南雲昭三郎, 1972, 第 III 編 海底地震の研究, 「海底物理」, 海洋科学基礎講座, 東海大学出版会.
- 南雲昭三郎, 笠原順三, 是沢定之, 大内 徹, 1977, 浮上式海底地震計, *地震学会講演予稿集* (昭和 52 年秋季), No. 2, p. 1.
- PROTHERO, W. A. Jr. 1977, A digital event-recording ocean bottom seismometer capsule, *Marine Geophys. Res.*, **3**, 119-141.
- PROTHERO, W. A. Jr., 1979, An operationally optimized ocean-bottom seismometer capsule, *Phys. Earth Planet. Interior*, **18**, 71-77.
- SUTTON, G. H., M. E. ODEGARD, N. MARK and N. J. LETOURNEAU, 1970, Research in seismology related to the Columbia ocean-bottom seismograph, *HIG report*, 70-12, 1-66.
- SUTTON, G. H., J. KASAHARA, W. N. ICHINOSE and D. A. BYRNE, 1977, Ocean bottom seismograph development at Hawaii Institute of Geophysics, *Marine Geophys. Res.*, **3**, 153-177.

24. Pop-up OBS (ERI type P-79)

By Junzo KASAHARA, Sadayuki KORESAWA, Shozaburo NAGUMO,
Tamotsu DAIKUHARA, Tomomi HARA and Seichi ANDO,
Earthquake Research Institute.

A new type of pop-up OBS (P-79) was developed. The P-79 has the following features: the newly developed release system; use of new sensors (2 Hz vertical and horizontal geophones and one hydrophone); a new gimbal for geophones; the use of glass sphere pressure case; a low wow-flatter recorder deck; and easy handling.

The main causes of OBS noise might be the motor of the recorder and the Kármán vortex due to bottom current. Motor noise was reduced by the use of a foam rubber insulator. The dominant noise frequency due to the Kármán vortex was discussed. A 50 cm/sec bottom current may produce a 16 Hz Kármán noise around the antenna of a radio transmitter with 0.6 cm in antenna diameter.

The new release system utilizes an electrical corrosion of stainless-steel wire. Dual timers in separate pressure cases feed one release mechanism. Pop-up tests were successfully done at sea.