

釧路・十勝沖海底地震総合観測システムの海底地震計性能向上の試み

松本 浩幸^{*1} 川口 勝義^{*1} 大塚 梨代^{*2}

釧路・十勝沖海底地震総合観測システムの3台のケーブル式海底地震計は、未固結の堆積物上に設置されていた。2002年6月から7月にかけて、新たに開発した埋設装置でトレンチを掘り3台の海底地震計埋設作業を実施した。本報告では、埋設装置の概要と海底地震計埋設前後でノイズレベルの変化を述べている。結果として、埋設前に見られた脈動の周波数と振幅は埋設後も有意差はなかったものの、高周波数帯域におけるノイズレベルは約10%程度の低減効果が認められた。

キーワード：釧路・十勝沖海底地震総合観測システム，海底地震計，地震計埋設，脈動ノイズ

Effects of background noise due to deep sea environments on ocean bottom seismometers attached on the real-time cabled- observatory off Kushiro-Tokachi

Hiroyuki MATSUMOTO^{*3} Katsuyoshi KAWAGUCHI^{*3} Riyo OTSUKA^{*4}

Three ocean bottom seismometers (OBSs) in-lined cable system off Kushiro-Tokachi are put on the unconsolidated sediment, mainly consisting of sandy mud. During two surveys of the R/V Kairei with Kaiko, and the R/V Kaiko with Hyper Dolphin, which are unmanned submersibles carried out laying three OBSs under the ocean bottom by using new suction system. As a result, as for the background seismic noise there is no dramatically change between past and ongoing the operations, however, about 10% noise reduction in high frequency range can be observed.

Keywords : Cable-connected geophysical observatory off Kushiro, ocean bottom seismometer, suction system, micro-seismic noise

* 1 海洋科学技術センター深海研究部

* 2 マリン・ワーク・ジャパン

* 3 Deep Sea Research Dept., JAMSTEC

* 4 Marine Works Japan Ltd.

1. はじめに

釧路・十勝沖の千島海溝では、太平洋プレートが北海道や千島列島の下へ沈み込んでおり、このプレート運動が原因となる海溝型大地震が(巨大)地震空白域を埋めていくように発生している。このプレート境界においては、沈み込む角度が場所によって異なっており、それらがこの海域の地震活動を複雑化させているというモデルが提案されている。しかしながら、このモデルを検証するためには、陸上域の地震観測網のみでは観測不可能な海底下の活動が多いことや、観測された地震に関しても震源決定の精度の問題等で、このプレート境界の構造と活動を十分にイメージングすることができなかった。

このような状況下で、1999年7月から8月にかけて、釧路・十勝沖に海底地震総合観測システム2号機(以下、釧路システムと略称)が敷設された。図1に示すように、釧路システムはケーブル全長240km、その中にインライン型海底地震計3台、およびインライン型津波計2台を含み、ケーブル先端には多目的観測システム、およびこの観測ケーブルを拠点に機動的なリアルタイム観測を実現するためのケーブルの分岐装置を2式装備したシステムから構成されている¹⁾。1999年にシステム設置以来、継続的に観測を続けており、海域の詳細な地震活動が明らかになり、さらに震源決定の精度が向上し、徐々にこの海域の海底下構造と地殻活動の履歴を正確に把握することに寄与している。

インライン型海底地震計には日本航空電子工業社製サーボ型加速度センサーJA-5HIIAが使用され、広帯域受震帯を確保している。加速度センサーは図2に示すように、直交3成

分方向に取り付けられている。後述のように、釧路システム海底地震計のセンサー固有ノイズは比較的高いことが判明している²⁾。また、釧路・十勝沖の海底における脈動の帯域が周波数0.1~2Hzに跨がり、0.2Hzに $10^9(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ 程度の振幅を持つノイズピークがあることが推定されている。この脈動ノイズレベルおよび帯域は、振幅がセンサーシステムノイズを超えて観測された周波数帯から判断している³⁾。この脈動ノイズは、センサーと海底とのカップリングに密接に関係しているが、今のところ考慮されていないのが実情である。脈動ノイズの一部は、潮汐や表面波、低層流などに起因すると考えられ、このノイズを除去もしくは低減することができれば、観

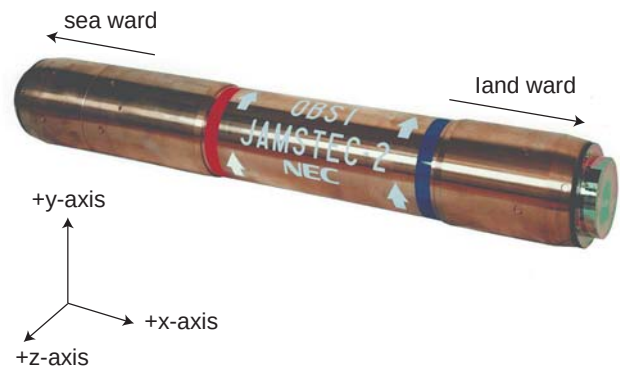


図2 釧路システムの海底地震計

Fig. 2 Ocean bottom seismometer attached on the Kushiro-Tokachi cabled system.

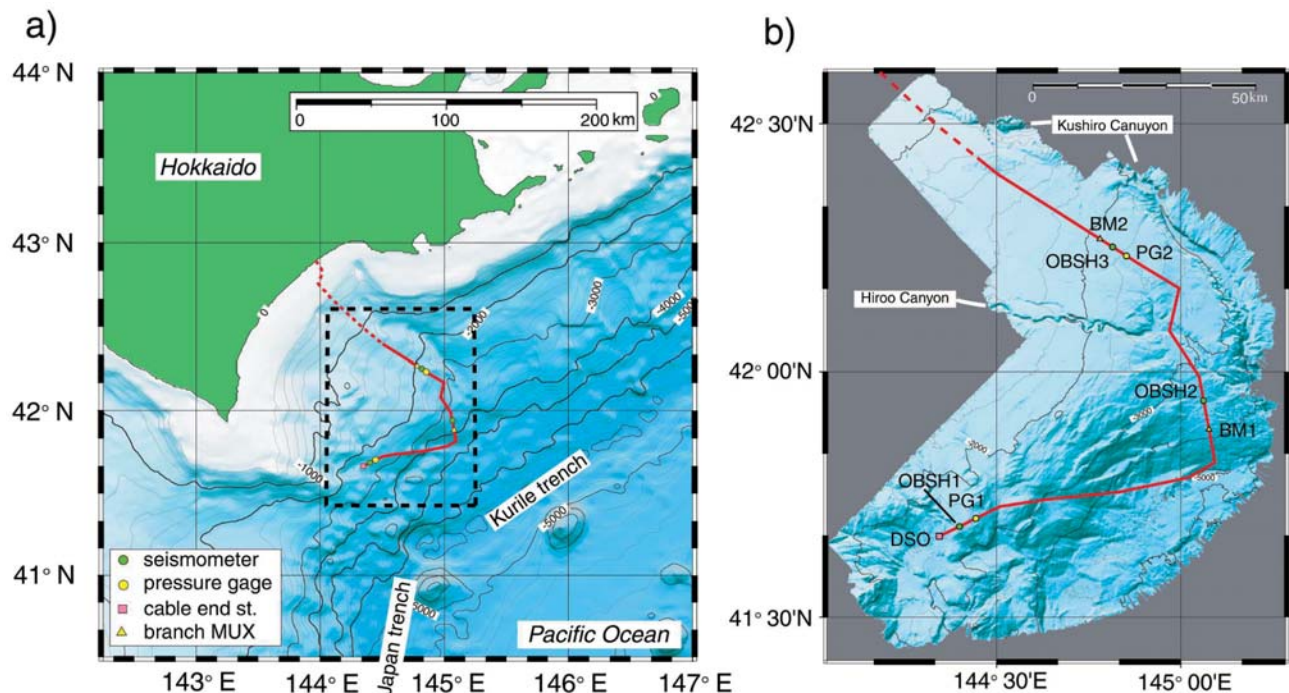


図1 釧路・十勝沖海底ケーブルシステムのルート図

Fig. 1 The cable route and sensor location for long-term deep seafloor aboservatory off Kushiro-Tokachi system.

測精度をさらに向上させることができる。釧路・十勝沖の海底表面は低密度の未固結堆積物で覆われており、その海底面にそのまま設置された地震計と海底とのカップリングを議論することは、今後の海底地震活動観測する上で必要不可欠である。

2002年に実施した2つの航海、KR02-07航海およびKY02-07航海は、釧路・十勝沖沈み込み帯のイメージングおよび活動履歴の検証のさらなる精度向上を第一の目的とし、海底面に設置された地震計の受ける環境ノイズの低減を検討するために行われた。2回行われた航海では、海洋科学技術センターで開発した堆積層を吸引し海底に溝を作成する地震計埋設装置(サクシオンシステム)を用い、積極的な地震計埋設作業を実施した。そして、センサーが安定した後、埋設前後で脈動のノイズレベルに変化があるか、またその変化が有意であるかどうかを確認することとした。本稿では、海底地震計性能向上のために開発した地震計埋設装置(サクシオンシステム)の概要と、地震計埋設後に実施したデータ解析結果について報告する。

2. KR02-07航海とKY02-07航海の概要

海洋科学技術センター調査船「かいりい」と無人探査機(ROV)「かいこう」によるKR02-07航海で、埋設装置によるケーブル式海底地震計の埋設作業を実施した。釧路システムはケーブル上に3機の地震計を装備しているが、KR02-07航海では日程上埋設作業にしようできる潜航回数が1回であった。そのため、「かいこう」でしか作業ができない水深に設置されているOBS2の埋設作業を、2002年6月12日の「かいこう」潜航(#241)により実施した。

引き続き、KY02-07航海は、海洋科学技術センター調査船「かいよう」と無人探査機(ROV)「ハイパードルフィン」により、2002年7月7日から7月10日にかけて行われた。KY02-07航海の潜航は、釧路システムの2台のインライン地震計OBS1地点で2潜航(#112, #113)、OBS3地点で1潜航(#114)、および先端ステーション地点で1潜航(#115)、合計4潜航を行った。KY02-07航海の前半3潜航の主目的は、釧路システムのうち、先端ステーション側と陸上観測所側に設置している2台の地震計OBS3およびOBS1の海底下埋設を実施することであった。後半1潜航は、これまで未設置であった釧路システムの先端観測ステーションに装備されているハイドロフォン及び地中温度計を海底に設置する作業を実施することを目的としていた。

釧路・十勝沖海底面は、堆積物の極表層が非常に柔らかく、ケーブルが部分的に埋もれており、潜航しても目視で確認できない可能性が事前に指摘されていた。そこで、潜航にあたり地震計設置点(ケーブル敷設船によるシステム設置時に導線のSSBL音響測位システムにより計測済み)付近に着底して、ケーブル沿いに地震計へのアプローチを行う計画を立てた。その後、後述の地震計埋設装置(サクシオンシステム)により、トレンチを掘り海底地震計の埋設作業を実施した。写真1はサクシオンシステムを用いて地震計埋設のためのトレンチを掘る作業を行っているものである。地震計埋設のため



写真1 開発された地震埋設装置による掘削作業

Photo 1 Digging operation by the developed suction system.

に開発されたサクシオンシステムは、未固結な堆積物上に設置された地震計であれば、約6時間で50~80cm程度のトレンチを掘り埋設が可能なが確認できた。

3. 地震計埋設装置の概要

海底面に設置された地震計は、外欄としてその筐体に海底の流れを受ける可能性があり、この流れの影響が地震計のノイズの一因だと考えられている。そこで、半恒久的に海底に置かれるリアルタイム型の長期観測用海底地震計について、これらを海底の堆積物中に埋設することにより外乱の影響を軽減し、精度の高い地震観測データの観測を行うことが可能になると考えられる。本装置は、このための地震計埋設システムである。地震計埋設装置(サクシオンシステム)は、図3に示すように、駆動源となるポンプユニット、アクチュエータ、ホースから構成される。基本仕様と構成は、表1の通りである。

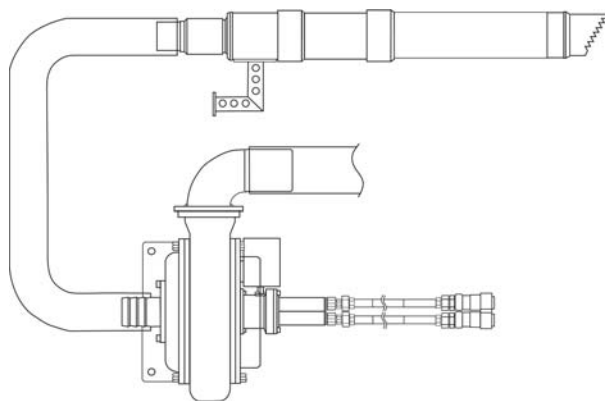


図3 地震計埋設装置(サクシオンシステム)のレイアウト。ポンプユニット(下部)、アクチュエータ(下部)、そしてホース(上部および中間部)から構成される。

Fig. 3 Layout of suction system. The system consists of a pump unit, an actuator nozzle, and bellows.

4. 広帯域海底地震計のセンサノイズ特性

4.1. 埋設前の脈動

地震計埋設前の脈動ノイズを調べるために、釧路システムの3台の海底地震計OBS1,2,3の非地震時の実際の釧路海底におけるパワースペクトル密度(単位: $(\text{m/s}^2)/\text{Hz}$)をそれぞれ図4, 5, 6に示す。スペクトル計算のために抽出した加速度記

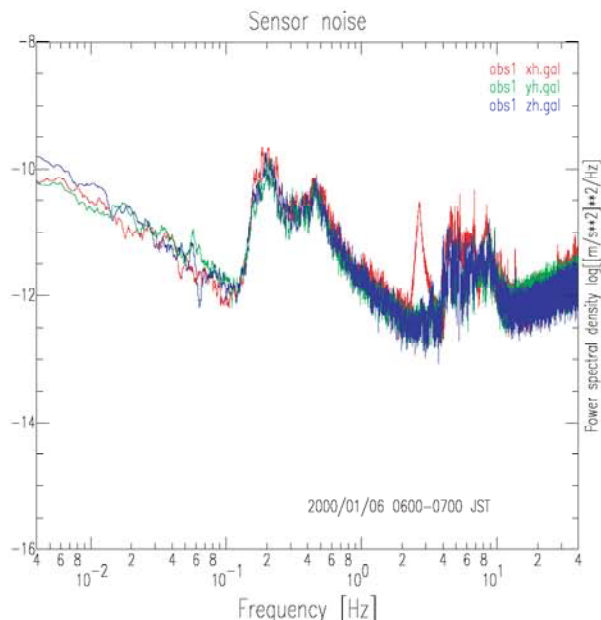


図4 地震計埋設前のOBS1の加速度パワースペクトル密度
Fig. 4 Acceleration power spectrum density of OBS1 before seismometer laying under the seabed.

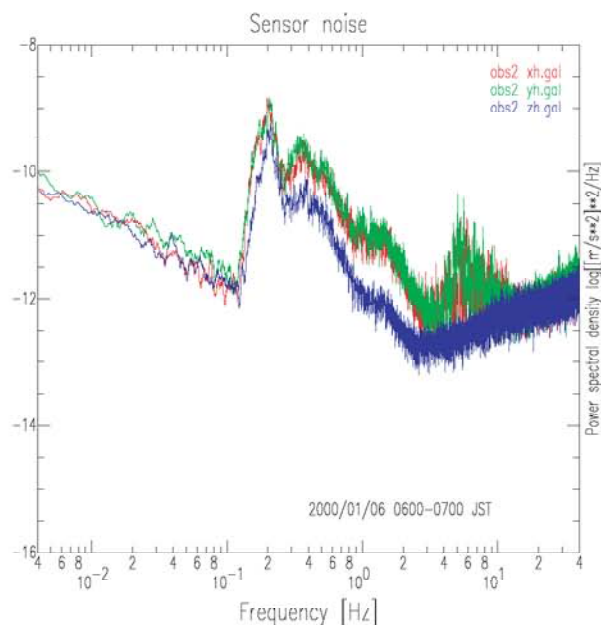


図5 地震計埋設前のOBS2の加速度パワースペクトル密度
Fig. 5 Acceleration power spectrum density of OBS2 before seismometer laying under the seabed.

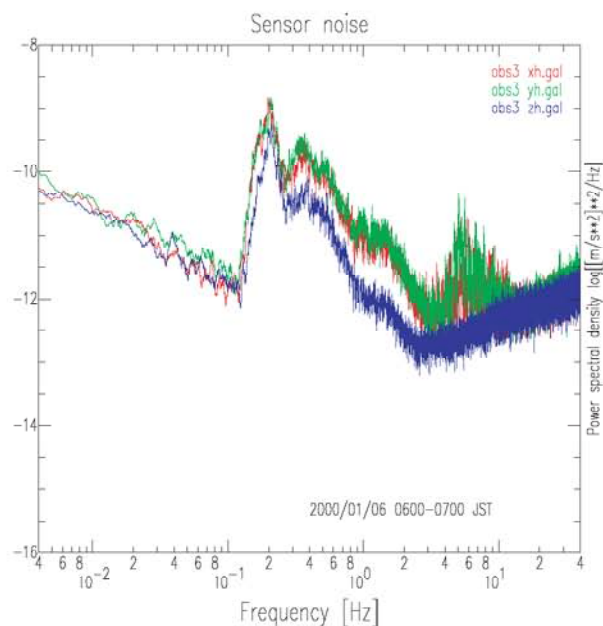


図6 地震計埋設前のOBS3の加速度パワースペクトル密度
Fig. 6 Acceleration power spectrum density of OBS3 before seismometer laying under the seabed.

録は、日本時間2000年1月10日6時00分から6時54分までのものである。図中の、赤線、緑線、青線は、それぞれ海底地震計のX成分、Y成分、Z成分を示している。3台の海底地震計OBS1,2,3に共通して言えることは、パワースペクトルは、低周波数帯域では周波数の1乗に比例して減少して、高周波数帯域では周波数の0.5乗に比例して増大する。そして、周波数帯0.1~0.2Hzに見られるピークが、実際の釧路システムが観測した脈動であり、その最大値は0.2Hzに $10^{-9}(\text{m/s}^2)/\text{Hz}$ 程度の振幅を持つことが分かる。

例えば、OBS1の2~10Hzに明瞭にピークが存在するが、試行錯誤的にデータを抽出するとピークが現れたり現れなかったりする。この周波数帯域は、気象庁精密地震観測室で測定した際のセンサー固有ノイズレベルが実際の釧路沖海底におけるそれを上回っている帯域であり、センサー固有ノイズに振り子振幅依存性が顕著に認められると推測されている周波数帯域である。

4.2. 埋設後の脈動ノイズ

4.1で述べた脈動ノイズが地震計埋設後にどの程度変化したのか検討した。地震計埋設後にセンサーが安定したと思われる地震計埋設から3ヶ月後の2002年10月22日の4時00分から5時00分までを抽出して、同様にパワースペクトル密度を計算した。OBS1,2,3のパワースペクトル密度の計算結果を4.1と同様に表示したものを図7, 8, 9に示す。ただし、注意しなければならないのは、図中に示した3成分は加速度計の3成分を指しており、埋設前の3成分方向への座標変換は行っていない。また、気象や海流等の自然条件も考慮せずに、単純に非地震時の1時間の加速度を抽出しているのみ

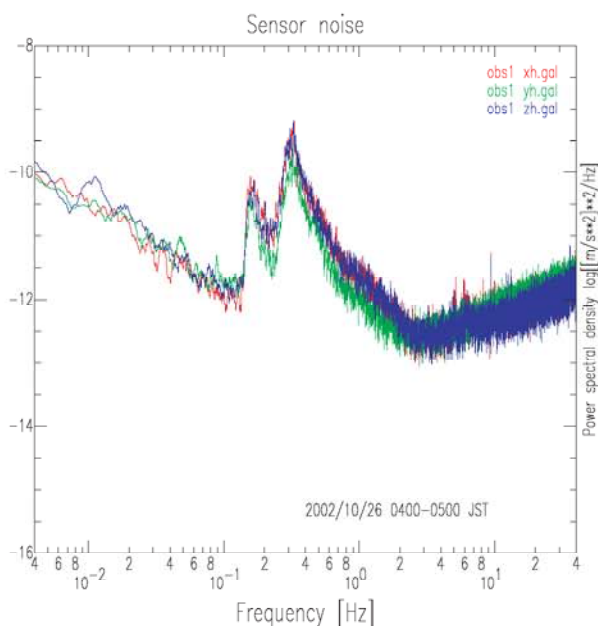


図7 地震計埋設後のOBS1の加速度パワースペクトル密度
Fig. 7 Acceleration power spectrum density of OBS1 after seismometer laying under the seabed.

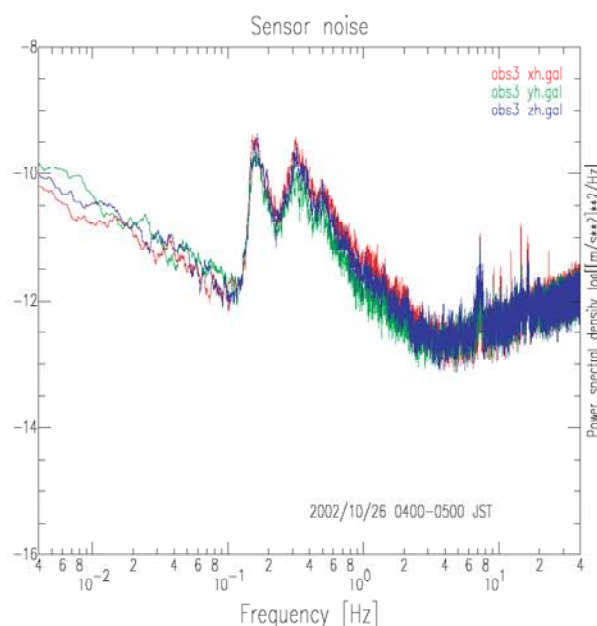


図9 地震計埋設後のOBS3の加速度パワースペクトル密度
Fig. 9 Acceleration power spectrum density of OBS3 after seismometer laying under the seabed.

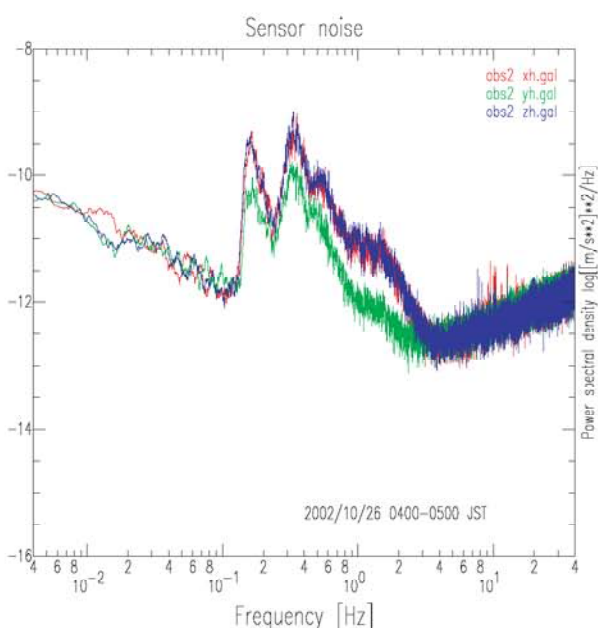


図8 地震計埋設後のOBS2の加速度パワースペクトル密度
Fig. 8 Acceleration power spectrum density of OBS2 after seismometer laying under the seabed.

である。そのため、現段階では定量的に評価するのは難しいと考えられる。

例えば、図7のOBS1の地震計埋設前後でのパワースペクトル密度の変化を見ると、埋設後も埋設前と同じく0.1～0.3Hzに脈動ノイズが見られる。ただし、埋設前よりも埋設後

のほうが、高周波数側の0.3Hzの脈動ノイズが卓越していることが読みとれる。2Hz以上の高周波数帯域に注目すると、埋設前に存在したピークが埋設後には消滅している。

OBS2とOBS3の埋設による変化も、大まかにはOBS1と同じ傾向にあるが、OBS3の0.2Hzより高周波数帯域では、パワーにして約10分の1にノイズレベルが低減していることが分かる。

5. まとめ

本報告では、まず2002年6月に実施したKR02-07航海と2002年7月に実施したKY02-07航海の作業概要と海底地震計埋設装置（サクシオンシステム）について述べた。そして、第一報として海底地震計埋設から約3ヶ月後の海底地震計の地中埋設によるノイズ変化状況について示した。

本報告で述べたノイズ低減効果は、現段階では定量的評価されているものではなく、現状での観測データと既存のデータとの比較を行ったものである。しかしながら、埋設前後で長期データを収集して、定量的にノイズ低減を評価することは、将来の広帯域地震観測ネットワークの構築にとって重要な資料提供に資すると考えられる。

謝辞

本調査は、「かいいい」および「かいう」の乗組員、潜航チーム員、海洋科学技術センターの関係各位のご協力により実施することができました。末筆ながら、記して深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Kawaguchi, K., K. Hirata, T. Nishida, S. Obana, and H. Mikada: A new approach for mobile and expandable real-time deep seafloor observation _ Adaptable observation system, IEEE J. Ocean Eng., 27(2), 182-192, 2002.
- 2) 平田賢治・杉岡裕子・藤沢 格・片山 武・海宝由佳・菱木賢治・柏原静雄: 釧路・十勝沖海底地震観測システムの広帯域海底地震計のセンサノイズ特性について－気

象庁精密地震観測室での比較観測－, JAMSTEC深海研究, 18, 129-137, 2001.

- 3) Hirata, K., M. Aoyagi, H. Mikada, K. Kawaguchi, Y. Kaiho, R. Iwase, S. Morita, I. Fujisawa, H. Sugioka, K. Mitsuzawa, K. Suyehiro, H. Kinoshita, and N. Fujiwara: Real-time geophysical measurements on the deep seafloor using submarine cable in the southern Kurile subduction zone, IEEE J. Ocean. Eng. 27(2), 170-181, 2002.

(原稿受理:平成15年1月15日)

表1 地震計埋設装置の基本仕様と構成

Table 1 Specification and composition of the suction system.

基本仕様

最大深度	6000m	
周囲条件	外気温度	0～40℃（作動時）
		不氷結温度～50℃（保管時）
	海水温度	0～30℃
	相対湿度	90%以下
圧力	最大使用深度圧力	618kgf/cm ²
	外圧陽気設計圧力	1.2倍
	同上耐圧試験圧力	1.05倍
振動・衝撃	着水・揚収時の振動・衝撃に耐えること	

構成および仕様

ポンプユニット

油圧方式		油均圧形シール構造
油圧モーター	最大供給圧力	14Mpa
	油最大供給量	14.7 lit/min
	最大回転数	1800rpm
	最大トルク	1.5kgf・m
	シャフト	構造用鋼
	ケーシング	鋳鉄
	使用オイル	シェルエアロフード No.4
遠心ポンプ	最大吐き出し量	1000lit/min
	最大揚程	6m
	最大粒径	20mm
	羽車材質	高クロム鋳鉄（HCrFC）
	ケーシング材質	FC200
軸端シール受け	材質	SUS304
	使用オイル	シェルエアロフード No.4
油圧ホース	サーモプラスチックホース	SS-7R6 TM10 TM10 3000L
	クイックカップリング	S210-4S

アクチュエータ

先端ノズル	ノズルA	片切りタイプ
	ノズルB	円錐タイプ
	材質	SUS304
フィルター	ノズルに装着され、20mm角以上の粒子が通過しない構造	
	材質	SUS304

ホース

サクショホース		VAAホース 65A
デリバリーホース		ダクトトーマイ 90A