

測量船「明洋」への海底地殻変動観測用送受波器の船底装備について

川井仁一，浅倉宜矢：航法測地室

松本良浩：元海洋研究室

Permanent installation of the acoustic transducer for GPS/Acoustic seafloor geodetic observation under hull of Survey Vessel "Meiyo"

Jin-ichi KAWAI, Takaya ASAKURA : Geodesy and Geodetic Office

Yoshihiro MATSUMOTO : Formerly belonged to Ocean Research Laboratory

1 はじめに

海底地殻変動観測は2000年の開始以来，観測機材や解析手法の改良を行ってきている。

観測は，主に船体の位置を正確に求めるためのキネマティックGPS (KGPS) 観測，船と海底基準局との距離を計測するための音響測距観測，音速度補正のためのCTD, XCTD, XBT観測，そしてKGPSアンテナの位置から海底地殻変動観測用送受波器（以下，「トランスデューサ」という。）の位置を求めるために動揺観測を行っている。海底地殻変動観測及び観測機器の詳細については，畝見（2004），成田（2005）が紹介している。

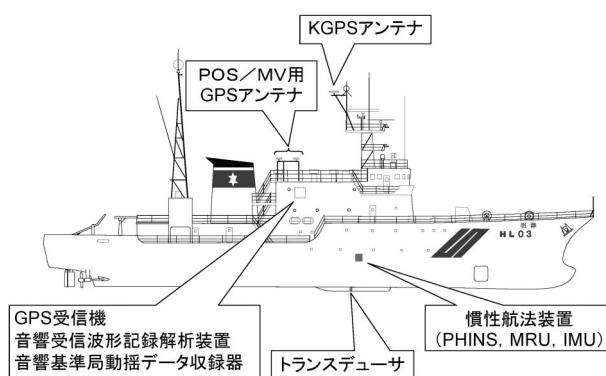
これまでの観測では，1本の支柱にKGPSアンテナ，動揺観測装置（Applanix社製POS/MV用慣性航法装置IMU及びGPSアンテナ2基），トランスデューサを取り付け，支柱を船尾に設置して観測を行っていたが，今般，「明洋」のナローマルチビーム測深機の代替に併せてトランスデューサの船底装備を行ったので，他の関連機器の設置も含め，その装備状況について報告する。

2 観測機器

「明洋」への海底地殻変動観測機器の取付け状況は以下のとおりである。

IMUを重力計室，KGPSアンテナをマスト，POS/MV用GPSアンテナを上部船橋甲板右舷側，ト

ランスデューサを船底にそれぞれ設置し観測室まで配線した。観測室には，GPS受信機，音響受信波形記



第1図 「明洋」への海底地殻変動観測機器取付け状況
Fig. 1 Situation of installation of GPS/Acoustic seafloor geodetic observation system on "Meiyo".



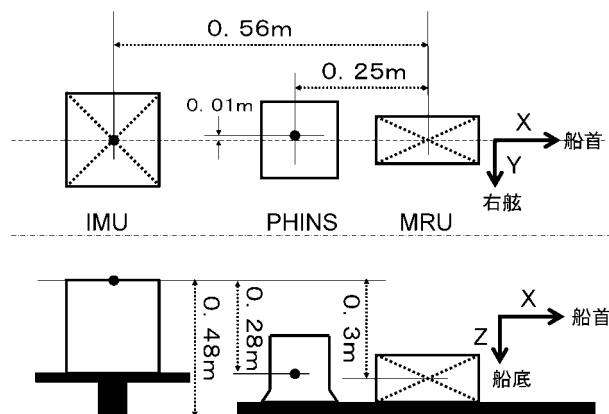
写真1 「明洋」観測室
Photo. 1 Observation room of "Meiyo".

録解析装置、音響基準局動揺データ収録器などを設置し、ここで海底地殻変動観測の殆どの作業が実施できるようになった（第1図、写真1）。

主要機器のうち2004年以降に更新された機器は、GPS受信機（Trimble社製NetRS）で、音響受信波形記録解析装置や音響基準局動揺データ収録器と同様にマスター時計（周波数標準器）から基準信号を入力している。これで課題の一つであった受信機内の発振子によるGPSデータの収録タイミングのずれをなくすことができ、さらにすべての観測機器の時刻の同期を取ることが可能となった。

また、本ドック中（2008年3月）に慣性航法装置（IXSEA社製光ファイバージャイロPHINS）を重力計室に取り付けたので、このデータも海底地殻変動観測に利用している。海底地殻変動観測ではNMEA 0183に準拠（IXSEA社ではTECHSASフォーマットと称する）したフォーマット（ヘディングは時計回りがプラス、ローリングは左舷Upがプラス、ピッチングは船首Upがプラス）で出力している。

重力計室にはPOS/MV用IMU、PHINSの他に、主にマルチビーム測深機と共に用いられるSeatex社製Seapath 200用MRUと併せて3台の慣性航法装置が設置されることとなった。これらの相対位置関係を第2図に示す。なお、PHINSの座標軸の中心は底面から81.5 mm、左面から79.8 mm、前面から91.4 mmにあり、IMUは上面の中心にある。



第2図 IMU,PHINS及びMRUの位置関係
Fig. 2 Positions of IMU, PHINS and MRU.

3 船底装備

3-1 概要

ナローマルチビーム測深機換装工事に伴い船底に取り付けるドームの一部に空間的余裕があったので、そこにトランスデューサを取り付けた。トランスデューサの取付け位置は、マスト直下より約30 cm船首方向、約80 cm左舷寄りとなった（写真2）。KGPSアンテナは、マストの方探アンテナが受信に影響しないように、マストから船尾方向にL字鋼を約1.6 m出して設置した（写真3）。



写真2 「明洋」船底へのトランスデューサ取付け状況

Photo. 2 Installation of the acoustic transducer under hull of "Meiyo".



写真3 KGPSアンテナ取付け状況

Photo. 3 Installation of the antenna on mast for Kinematic GPS observation.

海底地殻変動観測において必要な「KGPSアンテナとトランスデューサとの位置関係」の計測を実施したので、測量の計画から結果までの経過を次節に示す。

3-2 測量

(1) 計画

「明洋」が大型のドックに入渠することとなり、ドック内及び周辺でGPSを用いて計測する方法をとることとした。

手順としては、マストに取り付けるKGPSアンテナと「明洋」の周り（ドックの底）にGPS観測点を設けGPS同時観測を行い各点の位置を求める。GPS観測点から船底のトランスデューサまでの方向・距離・高度を計測してトランスデューサの座標を求める。このときドック外縁上にもGPS観測点を設けて、目標（当てもの）とする。

(2) 現地調査

実際に深さ13.5mのドックの底でGPSの電波が正常に受信できるかどうかのテスト観測を行った（写真4）。測点は、トランスデューサ方向が見通せて、かつ4衛星以上を捉えることのできるような場所として、「明洋」の右舷前方、左舷前方及び後方左舷

寄りの3点を選定した。各測点でのGPSデータを解析した結果、問題がなかったのでこの3点をGPS観測点とすることにした。

しかし、その後、ドックの補修工事に伴い「明洋」後方にネットが張られたため、これが障害となり当初予定した「明洋」後方左舷寄りでのGPS観測は不可能となった。そのため、「明洋」前方の左右のGPS観測点（G1、G2）からのみトランスデューサ（直下の測点をG3とした）を求めることとした。また、測定精度を上げるため2点からの夾角が広がるようにGPS衛星の捕捉状況を考慮しつつ、G1、G2の位置を「明洋」に近づけ、ドック外縁上の目標（T1）を含めた3点で同時観測のテストを行った。しかし、まだKGPSアンテナの「明洋」マストへの取付けが行われていないため、KGPSアンテナとの同時観測はできない状況であった。

(3) 測量

T1、G1、G2、G3（第3図）の測量を実施した（写真5）。測量はトータルステーション（TOPCON社製GTS-603 AF）を用いて測距・測角を、また、トランスデューサの底面の高さを求めるためG1、G2からレベリング（電子レベル：SOKKIA社製SDL30）を行った。成果は第1表のとおりである。

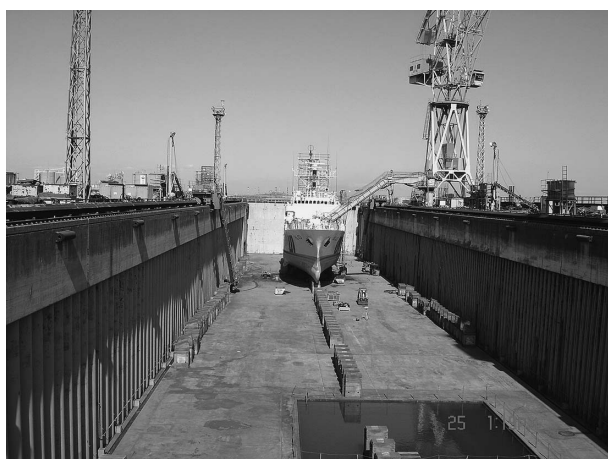


写真4 ドック中の「明洋」
Photo. 4 "Meiyo" in dock.



写真5 レベリング（トランスデューサ底面）
Photo. 5 Leveling.



第3図 測点配置

Fig. 3 Arrangement of T1, G1, G2 and G3.

第1表 トータルステーション及び水準儀による測量結果

Table 1 Results of surveying by Total Station and Level.

測角	調整角	測距	水平距離	レベリング	高低差
∠G1-T1-G3	5° 49' 29"	G1-G3	30.062m	G1→TD	+1.103m
∠T1-G1-G3	154° 27' 44"	G2-G3	26.743m	G2→TD	+1.137m
∠G1-G3-T1	19° 42' 47"	T1-G1	99.914m		
∠G2-T1-G3	2° 53' 54"	T1-G2	101.587m		
∠T1-G3-G2	11° 4' 31"	T1-G3	127.700m		
∠T1-G2-G3	166° 1' 35"				

後日、KGPSアンテナが「明洋」マストに取り付けられたので、T1 (Trimble社製4700)、G1 (同5700)、G2 (同5700)、KGPSアンテナ (同NetRS) の4点でGPS同時観測 (30秒収録) を実施した (写真6)。その時の「明洋」の姿勢は、POS/MVのGPSアンテナがまだ取り付けられていなかったため、慣性航法装置 (PHINS) で測定した。測定はスタ



写真6 G1及びG2におけるGPS測量
Photo. 6 GPS observation at G1 and G2.

ティックアライメントを行い、それぞれの標準偏差はヘディング0.037°、ロール・ピッチ0.007°であった。

(4) 結果

G1, G2におけるGPS観測については、上空に索が張られたこともあって、約1日のデータのうち1時間しかフィックスしなかったが、T1は良好であった。GPS観測によって求められた各点の測地曲線座標値を第2表に示す。ここで、KGPSアンテナの位置は単独測位値を使用し、そこからG1, G2, T1の位置を求めた。解析にはGPSurvey Ver 2.35 aを使用した。

第2表 スタティックGPS観測成果 (KGPSアンテナ、G1、G2及びT1)

Table 2 Positions of antenna on mast, G1, G2 and T1.

測点名	緯度	経度	楕円体高
KGPSアンテナ	35° 25' 6.11627"	139° 40' 54.37973"	45.152m
G1	35° 25' 5.42379"	139° 40' 53.45452"	22.773m
G2	35° 25' 5.23149"	139° 40' 54.01771"	22.749m
T1	35° 25' 2.47422"	139° 40' 51.81111"	36.020m

第1, 2表からKGPSアンテナを原点として求めたトランスデューサ底面 (G3の鉛直上) の局所測地座標値は、X=-2.031 m, Y=-0.304 m, Z=-21.271 mとなった。ここで、Xは南北方向 (北方がプラス)、Yは東西方向 (東方がプラス)、Zは上下方向 (上方がプラス) である。なお、Z方向の座標値の計算にはG1, G2からのレベリングの値を使用した。

一方、G1, G2それぞれから求めた解にはΔX=0.019 m, ΔY=0.020 m, ΔZ=0.010 mの差があった。1 cm以内の精度で求めるには差が大きかったので、対処方法を検討し、「明洋」出渠後にT1及びG3でGPS観測を行うこととした。



写真7 出渠後のGPS測量 (G3からT1方向)
Photo. 7 GPS observation at G3.

(5) 再測量結果

T1及びG3 (いずれもTrimble社製5700, 30秒収録) にて約5時間のGPS同時観測を行った (写真7)。この結果とKGPSアンテナ及びT1でのGPS観測結果から、G3の座標値は $X = -2.032\text{ m}$, $Y = -0.303\text{ m}$, $Z = -22.473\text{ m}$ と求まった。これにG3からトランスデューサ底面までの高さ1.194 m (実測値) を加えて、トランスデューサ底面の $Z = -21.279\text{ m}$ を得た。最終的に採用することとした値 (KGPSアンテナ→トランスデューサ) を第3表に示す。再測量前との差は、 $\Delta X = -0.001\text{ m}$, $\Delta Y = +0.001\text{ m}$, $\Delta Z = -0.008\text{ m}$ である。

第3表 再測量の結果 (KGPSアンテナ→トランスデューサ)

Table 3 Results of resurvey. (From the antenna on mast to the acoustic transducer.) (X means the axis of N-S (N: +). Y means the axis of E-W (E: +). Z means the axis of Vertical (Up: +).)

局所測地座標	X (N)	Y (E)	Z (U)
KGPSアンテナ→T1	-112.245 m	-64.802 m	-9.133 m
T1→G3	110.213 m	64.499 m	-13.340 m
G3→トランスデューサ	0.000 m	0.000 m	1.194 m
KGPSアンテナ→トランスデューサ	-2.032 m	-0.303 m	-21.279 m

GPS観測によるG1, G2の標準偏差は、それぞれ $\Delta X = 1.6, 1.4\text{ mm}$, $\Delta Y = 1.7, 1.4\text{ mm}$, $\Delta Z = 5.3, 4.2\text{ mm}$, T1, G3はそれぞれ $\Delta X = 0.1, 0.4\text{ mm}$, $\Delta Y = 0.1, 0.3\text{ mm}$, $\Delta Z = 0.8, 3.2\text{ mm}$ である。ドックの中でのGPS観測は、障害物があったがG3で5時間のスタティック解析ができたこと、GPS受信機の固定誤差が水平 $5\text{ mm} + 0.5\text{ ppm}$, 高さ $5 \sim 10\text{ mm} + 0.5 \sim 1\text{ ppm}$ であることから必要な精度を確保できたと考えられる。

(6) 座標変換

GPS観測時の慣性航法装置 (PHINS) の計測値 (第4表) を用いて、慣性航法装置 (PHINS) の座標 (船上座標系) によるトランスデューサの位置をKGPSアンテナを原点として座標変換し、 $X = +1.889\text{ m}$, $Y = -0.765\text{ m}$, $Z = +21.281\text{ m}$ と求まった。ここでは、船首尾方向がX (船首方向がプラス), 右左舷方向がY (右舷方向がプラス), 上下方向がZ (船底方向がプラス) である。求めた座標値を第5表に示す。

第4表 GPS観測時の慣性航法装置の計測値 (ヘディング, ロール, ピッチ)

Table 4 Observed values of heading, rolling and pitching by PHINS while GPS observation.

Heading(°) 時計回りが (+)	Roll(°) 左舷Upが (+)	Pitch(°) 船首Downが (+)	Heading std. dev.	Roll std. dev.	Pitch std. dev.
209.582	-0.069	0.074	0.037	0.007	0.007

第5表 慣性航法装置の座標

Table 5 Coordinates of PHINS. (X means the axis of Heading direction (bow: +). Y means the axis of Swaying direction (starboard: +). Z means the axis of Heaving direction (Down: +).)

慣性航法装置(PHINS)の座標 (船上座標系)	X	Y	Z
KGPSアンテナ→トランスデューサ	1.889 m	-0.765 m	21.281 m

動揺観測時間内（1時間4分）での1秒収録データのゆらぎは、ヘディング 0.013° 、ローリング、ピッチング共に 0.002° であり、距離に換算すると最大2mm以内、第4表に示した標準偏差の値で計算しても5mm以内のずれとしかならない。

いずれ観測データが十分に蓄積されれば、バイアス値の解析からも、今回の値の妥当性が示されることとなろう。

4 終わりに

海底地殻変動観測機器の明洋への船体取付けにより、航走しながらの観測が可能となった。また、KGPSアンテナをマストに取り付けたことにより、支柱観測において上空からのGPS電波を遮断してしまうため観測中の使用を制限していたギャロス（CTD観測に使用）がいつでも使用可能となった。

今後の課題として、今回ドック中（静止状態）に実施できなかった慣性航法装置PHINSとPOS/MVの座標軸の比較があげられる。

謝 辞

今回の船底装備に関する測定に当たっては、三菱重工業株式会社横浜製作所に協力をいただいた。また、計測について日本海洋(株)に協力をいただいた。さらに、測量船「明洋」の乗組員の方々のご協力をいただいた。記して感謝いたします。

参 考 文 献

成田誉孝，望月将志：海底地殻変動観測における機器の現状とその運用について，海洋情報部技報，**23**，53-60，（2005）

畝見潤一郎：海底地殻変動観測の現状と諸問題について，海洋情報部技報，**22**，33-41，（2004）