11 - 3 海上保安庁海洋情報部の海底地殻変動観測 Seafloor geodetic observations of Hydrographic and Oceanographic Department

海上保安庁海洋情報部 Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard 東京大学生産技術研究所 Institute of Industrial Science, University of Tokyo

1. 観測網展開の計画と進捗状況

(1)観測の概要

海上保安庁海洋情報部(平成14年3月以前は水路部)では,海底基準局を海底に設置し,測量船 と海底基準局との距離を音響的に測定するとともに,測量船の位置・姿勢をキネマティックGPSで 陸上に設置された基準局から正確に測定することにより,海底基準局の位置を精密に測定する海底 地殻変動観測を実施している(第1図)¹⁾。

この海底地殻変動観測システムは,海上保安庁と東京大学生産技術研究所(生産研)が共同で開 発を行ったもので,基準点網の展開と観測の実施については海上保安庁が,解析については生産研 及び海上保安庁が共同で,システム開発については生産研が,それぞれ担当している。

海底基準局は,平成12年1月に熊野灘に初めて設置され,これまでに三陸沖,三宅島西方,日本 海溝陸棚斜面に計11箇所設置されており,1箇所当たり2日程度の観測を年1,2回行っている。 今年度は相模湾,東海沖など3箇所に設置する予定である(第2図)。今後,南海トラフ,三陸沖以 北の日本海溝等に,ほぼ100km間隔で基準局を展開していく予定である。

海底基準局は,1箇所当たり3,4台のミラートランスポンダーで構成され,船上の音響トランス デューサーとの間で10秒に1回の頻度で音響測距観測を行う。船上では0.5秒間隔でGPS 観測を 行い,船位の動揺を把握する。また音響測距観測により求まった走時から船上の音響トランスデュ ーサーと各海底基準局との距離を求めるためには,海中の音速を正確に把握する必要があるため, 観測に際してはCTD,XBTを用いた水温・塩分観測を行っている(第3図)。

(2)解析の概要

海底基準局の位置を正確に測定するためには,正確な音響測距の走時の計測,キネマティックGPS 解析による船位の決定²⁾,海中の音速度構造の把握が非常に重要となる。最近の解析で明らかになってきた問題点等については,(2)に述べる。

今までの解析結果から,我々の海底地殻変動観測システムが繰り返し観測を行うことで年間数 cm の地殻変動を捉えることが可能であることが示されている。

a.熊野トラフの結果

熊野灘における海底基準局は3台のミラートランスポンダーから構成されており,今までに2000 年5月,同年8月,2001年9月,2002年4月の計4回観測を実施している。2000年5月の観測デ ータから,各海底基準局の推定位置を音響測距の残差のばらつきが約5cmで求めることができた(第 4図)¹⁾。

b. 三宅島の結果

2000年6月末からの三宅島周辺海域での火山活動,地震活動を受けて,特に活動が活発であった

三宅島から神津島にかけての海底を取り囲むように,三宅島西方の海底に約15kmの距離で3つの 海底基準局を設置し(第5図),2001年1月の観測を初めとして年に数回観測を実施している。第 6図に2001年1,2,4月に行った海底地殻変動観測の結果を示す。図では,各海底基準局の平均位 置を2001年1月の結果を基準として示している。この結果,観測を行った2001年1月~4月の3 ヶ月間にはほとんど地殻変動はなかったと考えられる。

2. 観測の主な技術的課題とその対応

観測システムとしての精度と安定性を向上させるために、ハードウェア、ソフトウェア両面における様々な工夫を行っている。観測と解析を繰り返す中でシステムの改善を行い、より理想的な観測システム構築を目指している。

(1) ハードウェア

精度の高い観測を長期間にわたって実施していかなければならない海底地殻変動観測では,測定 機器の設計思想が如実に結果を左右することになる。高精度でありかつ長期安定性を念頭においた 機器製作が要求される。

海底基準局を構成しているトランスポンダーには船上局から送信された測距信号を受信し,その 信号をそのままの形で船上局へ送り返すという機能のみをもたせている。機能を限定することによ り,長期の動作安定性と低消費電力を実現し,システム全体を17"耐圧ガラス球1つに納めるとい う小型化を図りながらも5年以上の長期観測が可能な構成となっている。音響測距信号は,測距ト リガー信号,GPS時刻信号とともに200kHzの高速サンプリングで,GPS測位は2Hz,姿勢データ は50Hzのサンプリングで連続収録している。GPS時刻信号の同時収録によって,複数の観測機器 データ間の正確な時刻同期が可能となる。

トランスデューサーと GPS アンテナをつなぐ支柱にたわみが生じていることが,解析の際の距離 残差として観測結果より確認された。これに対し,船上システムをより堅牢なものに改良した上で なおかつ,その支柱の中心軸に対しどれだけのズレが生じているのかを,2 軸の傾斜センサー(第 7図)を使って計測しつつ音響測距を実施できるように観測システムの変更を行って対処を行って いる。このように観測結果を次の観測へフィードバックさせながら完成度を高めている段階である。

(2)解析手法

ハード面での高精度化だけでは, cm 精度の地殻変動の検出は不可能である。緻密なデータ処理, 解析の手法無くして実現できるものではなく, いくつかの新たに開発した手法を取り入れて海底測 位の精度向上を図っている。

水中音響測距における測距信号の読みとり精度を向上させる手法としては,音響測距信号のパル ス圧縮法(第8図),ドップラーシフト補正法(第9図)が,測距信号の理論走時を計算する際の音 速モデル構築においては,地球形状および時々刻々変化する海面状況に合わせた多層構造モデル生 成法(第10図)が,新たに開発し導入した新手法の代表である。更に解析を繰り返していく中で必 要性が見いだされ,音速構造の時間変化,船上局支柱の傾き,GPS 測位の誤差を推定する手法も開 発され,海底測位の精度向上が図られている。

(3)長基線キネマティック GPS 測位

キネマティック GPS 測位では, GPS 搬送波位相の観測から, 観測エポック(時刻)毎に位置を決

めるものである。この方法では,GPS 測地測量と同じく,搬送波の一波長よりも細かい分解能で GPS 衛星と移動点の距離を測ることから,一般のコードを用いた方法よりも詳細に位置を求められ る。しかし,エポック毎の測位なので,測地測量に比べ精度が落ちるのはやむをえない。また,せ いぜい 10 個程度の衛星の観測データを処理して測位を行うことから,観測数に余裕(リダンダンシ ー)がなく,ノイズ(マルチパス等)の混入を観測データ領域で把握し削除することが困難である。

この2つめの問題は、(時間的フィルター処理の施される)測位結果に大きなシステマティック誤 差をもたらすことがあり大きな課題である。方針は2つあり、一つは、推定位置解の領域で、異常 な位置を把握し処理することが重要であろう。このために慣性センサとの比較、(船舶であれば)海 面高の高さとの比較などを行っていくことが考えられる。もう一つは、そもそもマルチパス等(観 測環境に起因するものと観測システムに起因するもの)の実態を明らかにし、その混入を避けるこ とである。

現在は,陸上基準点(複数点)と海上移動点の同時観測データの後処理を行っている。短い基線では,一周波のみを使った方がよいが,実際の地殻変動観測のような長距離基線では,電離層の影響を除去しなければならない。L1/L2の2周波の結合データ[L3 = L1 + {11/(122-112)}(L1-L2); ここでL1 L2 は,それぞれの周波数の位相で測定した距離(m)]を用い,電離層の影響を補正した結果では,基線長が数百 km でも各エポックごとの再現性は 5 ~ 10cm になる。現在,詳細を検討中であり,別の機会に詳しい報告をする予定である。

参考文献

- 1) 浅田 昭・矢吹哲一朗:熊野トラフにおける長期地殻変動観測技術の高度化.地学雑誌,110, 529-543,(2001).
- 2) Colombo. O. L. : Long-Distance Kinematic GPS, in GPS for Geodesy . 2nd Edition, P. J. G. Teunissen and A. Kleusberg eds, Springer-Verlag, 537-567, (1998).



第1図 海底地殻変動観測の概念図



第2図 海底地殻変動観測基準局設置図

Fig.2 The locations of the seafloor reference stations.





(a)

company of the second	sources endported and an an an and a state of the second state of	the shift to achieve the should be as one through the should	store the second state of
	and an approximation of the second		NOW BILL CLUB OF SAME STREET
.UZ M	STORE BORNING STORE		
	CONTRACTOR OF A DESCRIPTION OF A DESCRIP	Server a second s	
01-			
010		March Street and Street Stre	
	NET CONTRACTOR CONTRACTOR	•	
0 m	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
	Contraction report of Contractionation - Pe	S. CONTR. 1. IL IN SUCCESSION IN ROMANNA.	ALE-COURT AND A A SUMMER AND CONTRACTOR
			where a subscription of the second
01m / /			
	strongenergi et erondere et erondere en et er	•	
Called The Control of	AND AND AN ANALYSING AND	2010/2010/2010 2010 2010/2010 2010 2010	
41.2 m			AGS LOCATION COMPANY CONTRACTOR
	East Constraint of the Constraint of the		253125221 (2010) 58100 - 555 (259)
-0.7 m			CANAL AND
9 00 110 00	112.00	13.08J 134.700	15.00
		BROKIED CONTRACTOR AND A CONTRACTOR OF A CONTRACTOR OF A CONTRACTOR OF A CONTRACTOR OF A CONTRACTOR AND A CONT	And the second sec

(b)

0.2 m							
0.1 m				2			
. Om				e i ste men	. 4		
41 m	5.4	S. 49.9	87 ₁ 7				
-82m						1	н. Т
-8.3 m							
9500	10:00	11.00	12:00	13.00	14:00	15:00	16:00

(c)

0.2 m							
6.1 m							
Øm .		La ita	- `				
-0.1 m		1. S. S. S.	1. ⁵	2487-855		·. · .	
-0.2 m			•				
-0 3 m							
9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15 00	16:00

- 第4図 2000年5月の熊野灘の海底基準局(St.1, St.2, St.3)観測における,この時の推定位置に 対する音響測定距離の残差.往復伝播時間が3.0sec.以下のデータは黒,その他はグレー表 示.
 - Fig.4 Horizontal residuals of St. 1(a), St. 2(b) and St. 3(c) on the Kumano trough observed on May 14 and 15, 2000. The position of each sea bottom station was estimated by the observation data in May 2000. Data with two-way travel time less than 3.0 sec. colored by black, others by gray.

(a) In positioning St. 1, standard deviation 6.8 cm of range-residuals, horizontal S.D. 3.9 cm, vertical S.D. 5.5 cm.

(b) In positioning St. 2, standard deviation 7.3 cm of range-residuals, horizontal S.D. 4.1 cm, vertical S.D. 6.1 cm.

(c) In positioning St. 3, standard deviation 6.5 cm of range-residuals, horizontal S.D. 3.0 cm, vertical S.D.5.7 cm.



第5図 三宅島西方における海底基準局設置図

Fig.5 The locations of the seafloor reference stations in the west off Miyake-jima.



第6図 各海底基準局の平均位置の時系列変化(基準値:2001年1月) Fig.6 Time series of mean positions of each station compared with the values of January 2001.



第7図 GPSアンテナとトランスデューサーをつなぐ支柱のしなり Fig.7 Bending of the pole on which the GPS antenna and the transducer were installed.



第8図 音響測距信号パルス化手法の改良





第9図 測距信号読みとり時のドップラーシフトの評価

Fig.9 Reading of arrival time of round-trip signal with evaluating influence of Doppler shift.



第10図 WGS84楕円体をもとにした多層音速構造 Fig.10 Multi-layer seawater structure based on WGS84.