

第1章 観測システム*

1.1 まえがき

この海底水圧観測装置は第3次地震予知5か年計画(1974-78年度)において開発された海底地震常時観測システム(田ら, 1980)の一部であり, このシステムの中では, “津波計”と呼ばれている。その名の示すとおり, 海底の急激な地殻変動に伴う津波を, その波源域で直接観測することをめざしている(Takahashi, 1981)。“津波計”の位置を Fig. 1.1 に示す。

海底で水圧を観測する機器としては Filloux (1969) の “Bourdon tube deep-sea tide gage”, Gwilliam and Collar (1974) などの “strain gauge pressure sensor”, Wimbuch (1977) の “vibrotron pressure gage” そして Karrer and Leach (1969) などの “quartz resonator pressure transducer” が実用化されている。これらのうちから, 分解能, 雑音, ドリフト等の点で優れていると評価した “quartz

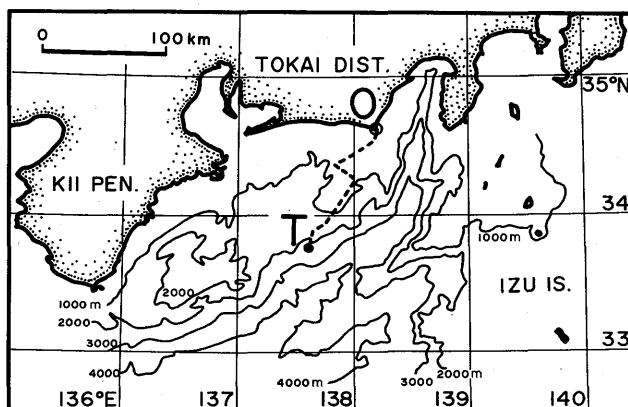


Fig. 1.1 Location of the bottom pressure sensor (T; 33°46'N, 137°35'E, 2200 m deep). Also shown are the cable line (dashed line) over which the signals are transmitted, and the shore monitoring station at Omaezaki (O) where the bottom pressure is recorded in analog system.

resonator pressure transducer”がこのシステムに採用され, 製品としては米国 Hewlett Packard 社のモデル 2813 B が使用されている。2813 B の取扱説明書の内容以上の資料を必要としたので, 同社および 2813 B を海洋観測に応用している Scripps Institute of Oceanography を訪問して詳細を調査した。その際に情報を得ることができなかった問題点, 例えば耐振動, 耐電食, 信頼性等の問題については独自に評価実験を行い, 安定した長期観測を行い得るシステムにまとめあげた。

1.2 変換部

2813 B のブロック図を Fig. 1.2 に示す。この図に示したように 2813 B は感圧水晶振動子 QPT, その温度特性を補正するための非感圧温度補償水晶振動子 QTC, それらの発振回路 OSC, 両者の差周波数を出力するための mixer MIT および low pass filter LPF で構成される。ここで,

f_s : QPT の共振周波数 (Hz)

*高橋道夫: 気象庁観測部地震予知情報課 (現)
松本英照: 地震火山研究部

f_R : QTC の共振周波数 (Hz)

f : 出力周波数 (Hz)

T_s : QPT の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

T_R : QTC の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

D : 水圧 ($\text{mH}_2\text{O} \doteq 10 \text{ kPa}$)

とすると

$$f_s = 4,992,000 + 19.8 T_s - 2.0 D \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$f_R = 5,000,000 + 20.0 T_R \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$f = f_R - f_s = 8,000 + 20.0 (T_R - 0.99 T_s) + 2.0 D \quad \dots\dots\dots (3)$$

という関係がある。但し、センサー付近の温度を $0 \sim 5^{\circ}\text{C}$ と仮定し、その高次に比例する項は省略してある。(3) は熱平衡が保たれている状態、すなわち、

$$T_s = T_R = T \quad \dots\dots\dots (4)$$

の時には

$$f = 8,000 + 0.2 T + 2.0 D \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。ここで T は環境温度 ($^{\circ}\text{C}$) である。(1)~(5) は出力周波数 f の特性をよく表している。すなわち f は常温、常圧下では約 8 kHz であるが、 $1 \text{ mH}_2\text{O}$ の水圧変化に対応して 2.0 Hz だけ変化する。また環境温度にも応答し 0.1°C の変化に対して 0.02 Hz の変化をする。これは水圧 $1 \text{ cmH}_2\text{O}$ の変化に相当するので、それだけ温度の安定した環境で使用しなければならないことがわかる。(1), (2) に示されているように QPT, QTC 単独では 0.1°C の温度変化が $1 \text{ mH}_2\text{O}$ の水圧変化に相当していたものが、差周波数をとることにより $1/100$ に抑圧されている。しかし、環境温度が急激に変化して、(4) の関係が成立しない過渡的な時間内には大きな雑音となる。この雑音の大きさは実験の結果によると、環境温度が階段状に 0.1°C だけ変化すると水圧約 $15 \text{ cmH}_2\text{O}$ 相当に達する。しかし、実際上は約 1 時間後に(4) の関係が再び成立し、過渡的な雑音は消える。また、雑音の形状が特徴的で、判別が容易であるから、実用上大きな障害とはならない。

1.3 伝送および記録部

出力周波数 f は海底地震常時観測システムの周波数配置設計上、 40 kHz の搬送波により AM 変調されて高周波側の側帯波のみが伝送路にのせられる。海底での送出レベルは -19 dBm であるが、 160 km の海底ケーブルを伝わって海岸局に到達した時には -70 dBm となる。環境雑音は嚴重なシールドにより、 -120 dBm に抑圧されているので見かけの S/N は最低 50 dB が得られている。海

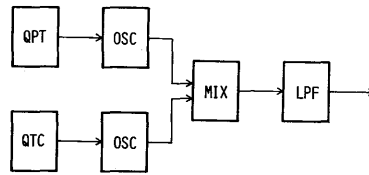


Fig. 1.2 Block diagram of the pressure sensor.
QPT: quartz pressure transducer. QTC: quartz temperature compensator. OSC: oscillator.
MIX: mixer. LPF: low pass filter.

岸局において復調によりもとの周波数にもどされた後、40 倍され 0.5 秒のゲート時間で計数される。従って、計数 1 単位が水圧 2.5 cmH₂O に相当する。計数値は D/A 変換されて 36 cmH₂O/cm の感度、2.5 cm/hr の紙のおくり速度の打点記録器で記録(Fig. 2.2)される。分解能 2.5 cmH₂O はいかにも粗いが、これはシステム設計時において 2813 B の分解能が過少評価されたためである。その後の評価実験によると、方式を多少改善すれば 0.1 cmH₂O 程度の分解能はあることが判明した。

海岸局から更に電話回線を通じて東京の中枢局まで送信された水圧データは小型計算機を中心としたシステムで受信・記録されるが、この報告書で用いるデータはすべて海岸局における打点記録を読み取ったものである。中枢局における記録に比べて i) 観測期間が長い、ii) システムが簡単なので欠測、誤測定が少ない、iii) 読取の際の内挿処理により 1 cmH₂O のみかけの分解が容易に得られる、などの特長がある。

1.4 ドリフト

水晶振動子は一般に、その枯化により年を経るにしたがって共振周波数が変化し、記録にドリフトが生ずる。この共振周波数の変化は(1), (2)式では省略されているが、 f_s も f_R もいずれも 0.5~5 Hz/year と評価されている。これは水圧に換算して 25~250 cmH₂O/year と、決して小さくない値である。この水圧観測システムでは、データのドリフトの原因が更に 2 つ考えられ、ひとつは搬送波発振器の周波数のドリフト、他のひとつは復調の際に用いる発振器の周波数ドリフトである。しかし、これらはそれぞれ 0.004~0.4 Hz/year, 0.0025 Hz/year と評価していて、2813 B の出力周波数 f のドリフトと比べて十分小さい。実際のデータの長期変動をみると 1980 年の秋までが約 +8 cmH₂O/year, それ以降が約 -3 cmH₂O/year と非常に小さい。2813 B のドリフトに関する評価が辛すぎたのかもしれないので、更に詳しい評価実験を継続中である。その中間結果によれば、うえの +8~-3 cmH₂O/year という長期変動は水晶振動子の枯化によるドリフトの範囲内である。

参考文献

田 望, 飯沼竜門, 松本英照, 商橋道夫, 1980: 海底地震常時観測システムの開発。気象研究所技術報告, 第4号。

References

- Filloux, J. H., 1969: Bourdon tube deep-sea tide gage, Proceedings of the International Symposium on Tsunamis and Tsunami Research, East-West Center Press, pp. 223-238.
- Gwilliam, T. J. P. and P. G. Collar, 1974: A strain gauge pressure sensor for measuring tides on the continental shelf. Institute of Oceanographic Science Report, No. 14.
- Karrer, H. E. and J. Leach, 1969: A quartz resonator pressure transducer. IEEE, Trans. Ind. Electron.

Control Instrum., IECl, 16, pp. 44-50.

Takahashi, M., 1981 : Telemetry bottom pressure observation system at a depth of 2,200 meter. J. Phys. Earth, 29, pp. 77-88.

Wimbuch, M., 1977 : An intensive sea floor precision pressure recorder. Deep Sea Res., 24, pp. 493-497.