

第3章 実用化試験*

1. 耐震性の試験

試作した強震計を構成する各機器に2000~4000 Gal^{P-P}の振動を与え、実際に強震下でうまく動作するかどうかを確かめた。これらの試験は、この強震計の性能を、強震下でも十分発揮できるかどうかを確かめるうえで非常に重要な項目であると位置づけている。試作品には以下に述べるような、二三の不満足な点が見られた。実用機においては、これらの箇所の何らかの設計変更、もしくは耐震機構の付加を行うべきであるとの判断を得た。具体的には、以下においてその都度述べる。

なお、この節で述べる各部分の振動試験の後に、強震計全体を同時に、大型振動台に搭載し、振動試験を行った。大型振動台は、その大きな加振力により、重量物に対し容易に大きな振動を与えることができる点が特長である。この強震計は可視記録器や電源等の、かなりの重量物が含まれるので装置全体は通常の振動台では一挙に試験することができない。大型振動台による試験は、水平一方向の加振を、装置の取り付け方向を変更することによって、装置に対しては二方向の加振とし、2日間にわたって実施した。周波数、振幅、波形等の条件を変化させて振動を与えた結果、システム全体に不都合が発生していないことを確かめた。また異なる種類、成分の変換器を同時に搭載し、異なる対象、例えば正規の出力と漏洩出力等に関する信号も同時に収録し、各部に単独で行った測定の評価に使用した。

1.1 変換器

変換器は振動台により、耐震性を評価すると同時に、その感度の測定も行いうる。しかし、振動台による感度の測定には一般に大きな誤差をとまなう(松本, 高橋, 1976)。これは振動台の不規則な運動によるもので、実際に重量物を振動させるのであるから、発振器の波形のようにきれいな正弦波形で、というわけにはいかない。感度の正確な測定には、もっと別の、電気的な方法が用いられるべきである。実際に変換器を振動台でふることの意義はむしろ、受感方向以外の振動に、いかに応答しないかを確かめることにある。このためには電気的な方法は無力である。しかし、振動台にしても、本来振動をかけている方向以外に全く動かないということはないから、精度は悪い。以下に掲げるデータは、振動台の運動をできるだけ規則正しくなるように調整して得たものであるが、それでも数%程度の異常な運動を含むという条件下で測定されたデータと考える。

振動は表3.1.1~3.1.3に示したように、3方向に5,7,10Hzの周波数で1000, 2000 Gal^{P-P}のレベルで3分間以上加えた。これらの表には各条件下における変換器の出力電圧値を示してある。

表3.1.1, 3.1.2, 3.1.3は、それぞれ、油制動方式、速度帰還方式、変位帰還方式の変換器に

* 執筆担当 松本英照, 高橋道夫

対する結果である。表中の◎印は受感方向であることを示す。また△印は振動台の円弧運動により、その方向に運動のまれがあることが明らかであることを示す。すなわち、図 3.1.1 あるいは図 3.1.

表 3.1.1 油制動方式の変換器にいろいろな振動を与えた時の出力 (V^{P-P} , 速度比例)。◎印は受感方向, △印は振動台の円弧運動のために、その方向の運動が発生することを示す。

変換器	入 方 加 速 度 (Gal ^{P-P})	振動方向	周 波 数 (Hz)		
			5	7	10
N-S	1000	N - S	0.484 [◎]	—	0.236 [◎]
		E - W	0.011	—	0.004
		U - D	0.001	0.001	0.001
	2000	N - S	0.960 [◎]	—	0.466 [◎]
		E - W	0.020	—	0.009
		U - D	—	0.002	0.002
U-D	1000	N - S	0.004 [△]	—	0.001 [△]
		E - W	0.006 [△]	—	0.002 [△]
		U - D	0.380 [◎]	0.275 [◎]	0.185 [◎]
	2000	N - S	0.011 [△]	—	0.002 [△]
		E - W	0.017 [△]	—	0.005 [△]
		U - D	—	0.540 [◎]	0.364 [◎]

表 3.1.2 速度帰還方式の変換器にいろいろな振動を与えた時の出力 (V^{P-P} , 加速度比例で感度は 5 mV/Gal)。◎印, および△印は表 3.1.1 と同様。

変換器	入力 加速度 (Gal^{P-P})	振動方向	周波数 (Hz)		
			5	7	10
N-S	1000	N-S	4.88 ◎	—	4.86 ◎
		E-W	0.030	—	0.034
		U-D	0.018	0.018	0.016
	2000	N-S	9.40 ◎	—	9.50 ◎
		E-W	0.060	—	0.140
		U-D	—	0.030	0.030
U-D	1000	N-S	0.052△	—	0.050△
		E-W	0.048△	—	0.036△
		U-D	4.44 ◎	4.52◎	4.56 ◎
	2000	N-S	0.170△	—	0.155△
		E-W	0.165△	—	0.135△
		U-D	—	9.20◎	8.75 ◎

表 3.1.3 変位帰還方式の変換器にいろいろの振動を与えた時の出力 (V^{P-P} , 加速度比例で感度は 5 mV/Gal)。◎印および△印は表 3.1.1 と同様。×印については本文参照。

変換器	入力 加速度 (Gal^{P-P})	振動方向	周波数 (Hz)		
			5	7	10
N-S	1000	N-S	5.04 ◎	—	4.80 ◎
		E-W	0.053	—	0.10 ×
		U-D	0.007	0.011	0.008
	2000	N-S	9.90 ◎	—	9.50 ◎
		E-W	0.103	—	0.100
		U-D	—	0.023	0.013
E-W	1000	N-S	0.048	—	0.044
		E-W	5.12 ◎	—	4.96 ◎
		U-D	0.250△	0.132△	0.072△
	2000	N-S	0.090	—	0.100
		E-W	10.05◎	—	9.80 ◎
		U-D	—	0.464△	0.220△
U-D	1000	N-S	0.034△	—	0.006△
		E-W	0.032△	—	0.030△
		U-D	4.84 ◎	4.88 ◎	4.60 ◎
	2000	N-S	0.150△	—	0.025△
		E-W	0.135△	—	0.030△
		U-D	—	9.65 ◎	9.00 ◎

2に示したような、腕の長さの短い振動台の場合、直交方向の成分が振幅の二乗に比例して、2倍の周波数で現れてくる。この現象は表3.1.3の、東西動変換器を2000 Gal^{P-P}で上下方向に7Hzで振動をかけた場合が最大で4.5%、すなわち90 Galに到っている。

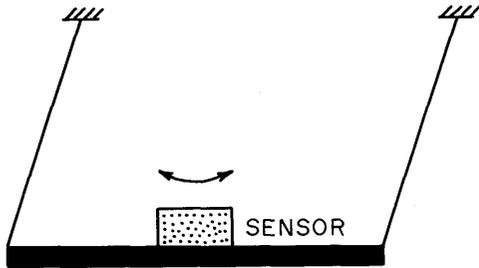


図 3.1.1 水平振動台。腕の長さが短いと振幅が大きくなるに従って、倍周波の上下振動が無視できなくなる。

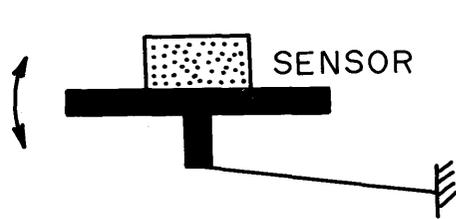


図 3.1.2 上下振動台。水平振動台と同様に、振幅が大きくなるに従って、水平振動が無視できなくなる。

油制動方式の変換器は、その、油つけという構造からしても耐振性には問題ないと考えられるが、実験により、そのとおり確認された。速度帰還方式の変換器も、この実験に関する限り問題はないと言える。

変位帰還方式の変換器を受感方向と直交方向に振動させた時、奇異な波形が観測された。その波形を図3.1.3に示す。これは南北成分の変換器を1000 Gal^{P-P}のレベルで東西方向に、10 Hzの振動を加えた時(表3.1.3の×印)にのみ発生した。図3.1.3の振動数は振動台のそれに等しく、振

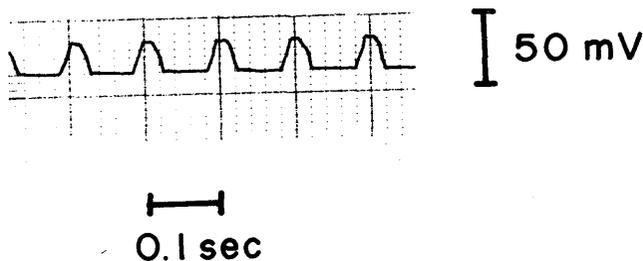


図 3.1.3 変位帰還方式の変換器をその受感方向と直交方向に振動させた時、観測された波形。振動台の異常な運動によるものではなく、変換器の振子の異常な振舞によると考えられるが、この現象は再現性がなく、実験的に追及することができなかった。

幅は最初は受感方向の振幅の0.4%の大きさであった。この状態で振動を与え続けたところ振幅が次第に成長し、2%の大きさまで達して成長はとまった。この原因はこの波形からして、振動台の運動の歪によるものではなく、変換器の振子の異常な運動によるものと考えられる。振子が常にこのような振舞をするのでは大問題であるが、このような現象は振動のレベルを2000 Gal^{P-P}に上げると発生しなくなるし、また表3.1.3の実験中、他にも例はない。われわれは、これはある特殊な条件下で、例えば特定の周波数の純粋な持続振動波による共振現象として出現するもので、まれに発生する現象であると判断し、変換方式および変換器のもつ本質的な問題ではないと評価している。

速度帰還方式および変位帰還方式の変換器について、先に第2章2.2節で述べたような、電気的な制動ないしは復元力が無効になる受感方向と直角方向へ、運動が“にげる”ことがないかどうか調べるために、二次元的な振動を与えた。二次元の振動は水平動振動台の上に小型の上下動振動台を設置することにより作りだした。

水平加振のみ、あるいは上下加振のみの場合には速度帰還、変位帰還方式の変換器いずれにも異常は見られなかった。しかし、二次元的な振動を与えた時、変位帰還方式の変換器は正常であったが、逆に、速度帰還方式の変換器(ダイヤフラムバネを用いている)からは異常な出力波形が、再現性をもって出力された。図3.1.4にその歪んだ波形を示す。この図の(C)に見られる高周波歪

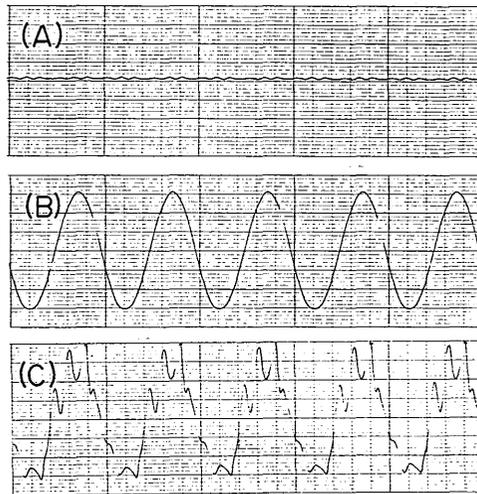


図3.1.4 速度帰還方式の水平動変換器に (A) 10Hz, 3kGal^{P-P} の上下動を与えた時の記録, (B) 5Hz, 3kGal^{P-P} の水平動を与えた時の記録, (C) 10Hz, 3kGal^{P-P} の上下動と5Hz, 2kGal^{P-P} の水平動を同時に与えた時の記録。横軸は左端から右端までが1秒。縦軸はいずれもフルスケールが4kGal。(A)において、わずかにしか認められない不正な出力が(C)においては異常に増幅されていて、波形の歪が著しい。

波形の周波数は30Hzで、上下加振周波数の3倍である。この周波数は、受感方向の加振振幅を変化させるにともない、微妙に変化したが、しかしそれは上下の振動数の整数倍に限られていた。こ

れはダイヤフラムバネが、電氣的制動により受感方向には動きにくくなっていることを原因とする、不正な振子の首振り運動が発生したためと考えられる。

しかしながら、後日、この変換器と同種の上下動変換器を用いて、コイルに電流を流すことにより上下に加振し、同時に振動台で水平に加振を行うという二次元加振実験を実施したところ、何の異常も認められなかった。このようなことから、上でのべた現象が、被試体固有の欠陥であったのか、それともダイヤフラムバネの本質的な、強震計には適しないという欠陥なのか、未解決である。これを見極めるには被試体の数をふやして実験を行わなければならない。

1.2 等化増幅器

等化増幅器単体の耐震性を評価するために、発振器から 0.2 Hz 、 $0.1 \text{ V}^{\text{O-P}}$ の信号を入力しながら表 3.1.4 に示した要領で振動を与え(図 3.1.5)，出力を監視することにより異常の有無を調べた。なお、振動にもっとも弱いと考えられる部分は着脱自由のプリント基板である。これは左右方向に 4 枚並んでいて、内、3 枚は 3 方向の成分に相当する積分回路がくみこまれている。これらは左、右、下の 3 箇所固定されている。この基板に搭載されている積分用の大容量コンデンサが特に重量があり、問題があるとすればその足のハンダづけの箇所であると考えられる。振動台の周波数が 7 Hz 以上でレベルが $1000 \text{ Gal}^{\text{P-P}}$ 以上だと、基板は音をたてて揺れ始める。しかしいずれも、浮き上がってくることはないし、また手で軽くおさえるという、わずかな制振作業を加えるだけで音は止る。なお基板の共振周波数は $26 \sim 27 \text{ Hz}$ 付近に認められた。

表 3.1.4 の Na 8 の実験中に上下動の速度比例出力に異常な雑音が発生しているのが認められた。その波形を図 3.1.6 に示す。その波形の特徴は、与えている振動の周期と等しい時間間隔でパルス状に発生している点である。雑音の発生箇所とその原因を追及するため、その後、いろいろと実験を行った。その結果、次のことがわかった。すなわち、雑音が発生するのは上下動成分の速度比例出力のみで、南北、東西方向の成分や、上下でも加速度あるいは変位比例出力には認められない。雑音の発生するのは i) 基板の共振周波数に近い、 20 Hz 以上の周波数であること、ii) レベルが $2000 \text{ Gal}^{\text{P-P}}$ 以上であること、iii) 振動方向が、基板をあおる方向の前後方向であること、の 3 条件が同時に満たされた時に限られる。雑音が発生している箇所は図 2.2.7 において、 V_2 は正常であるが V_4 では正常でないことから、U3、U4 周辺の箇所であることまではつきとめた。 V_4 に発生している雑音が変位比例出力の V_8 、 V_9 で認められないのは、その雑音の帯域 ($> 20 \text{ Hz}$) では V_4 以降の利得 V_8/V_4 が V_9/V_4 に比べて小さいからであると考えられる。U3、U4 の IC を別に用意したものと交換しても、また重量のある大容量コンデンサの支持部を補強したりしても、様子は全く変わらない。ただ、基板全体に防振機構を施すと、雑音はただちになくなる。

このようなことから、われわれは、この雑音の原因は、プリント基板製作時のごくわずかの不具合、納入検査時の目視検査では発見できない程度の瑕疵が、振動により露見してきたものであると

表 3. 1. 4 等化増幅器の振動試験実施要領

No.	振動方向	周波数(Hz)	振幅 (Gal ^{P-P})	振動時間(秒)	備 考
1	左 右	5 ~ 20	1000	350	予備テスト
2	"	"	2000	250	
3	"	"	"	140	
4	"	"	"	140	
5	前 後	"	1000	120	予備テスト
6	"	"	2000	200	
7	"	"	"	130	
8	"	"	"	140	
9	"	20	"	50	
10	"	"	200~2000	70	
11	"	"	"	70	
12	上 下	5 ~ 20	1000	210	予備テスト
13	"	7 ~ 20	2000	180	
14	"	"	"	100	
15	"	"	"	160	
16	"	10	2000~3000	220	振動台の調整
17	"	10 ~ 20	3000	90	
18	"	20	3000~4000	30	
19	"	10 ~ 20	3000	90	
20	"	"	"	80	
21	左 右	"	2600	170	
22	"	"	"	90	
23	"	"	"	90	
24	前 後	"	"	180	
25	"	"	"	130	
26	"	"	"	220	
27	"	20	2000	50	
28	"	"	200~2000	90	
29	"	10	2000	70	
30	"	20	200~1200	30	
31	"	"	200~1000	130	
32	"	10 ~ 20	200~1800	120	
33	"	20	200~1000	110	
34	"	20	1000	120	

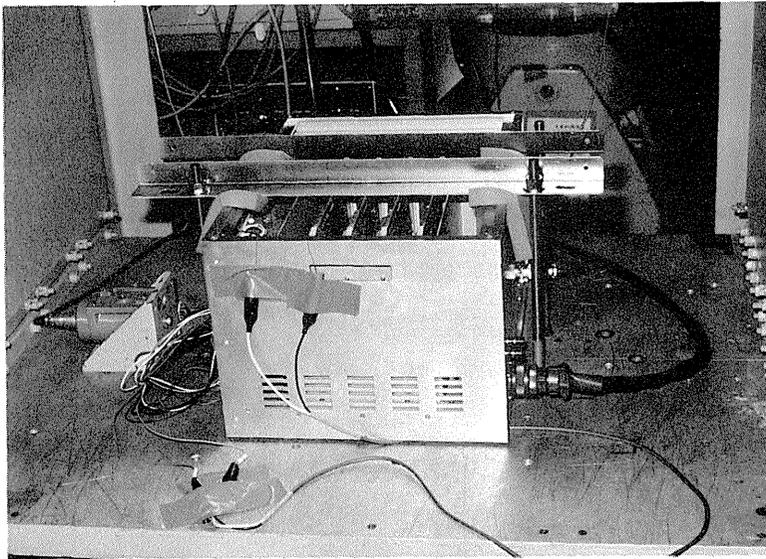


図 3.1.5 等化増幅器の耐震性の試験

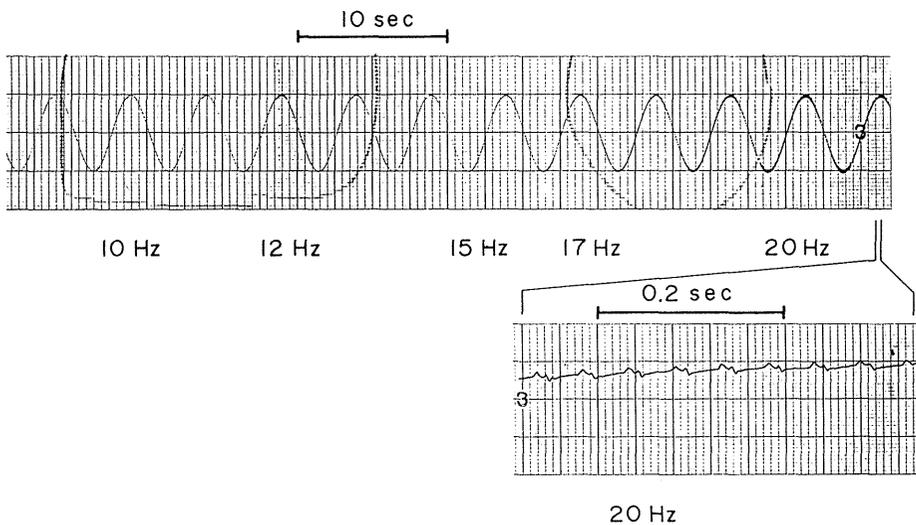


図 3.1.6 等化増幅器の速度比例出力にあらわれた異常な雑音。図中の周波数は与えた振動の周波数で振幅は2000 Gal^{P-P}。基板には防振機構を施すことが必要と考えられる。

評価した。それでもこれは振動測定用の機器としては必ずしも小さな問題とは言えないので、なんらかの対策をとる必要がある。そのひとつには基板に耐震機構を施す方法が考えられる。さらに納入の前に十分な振動試験を科すことができれば万全である。これらにより、目視検査で見逃す程度の瑕疵がもしあっても、まちがいをなく検出できよう。

1.3 アナログ記録器

アナログ記録器は、2つの筐体からなっていて、一方はガルバ・アンプ、他方はドラム記録部である。前者に発振器から三角波を入力し、後者のペンで記録を描かせながら、振動台の塔載重量の制限から各々の筐体を別々に振動をかけた。まず、ガルバ・アンプのみを塔載し、前後、左右、上下方向に5~20Hzで1600Gal^{P-P}および2000Gal^{P-P}のレベルで、周波数を掃引しながら各3分間振動を与えた。可視記録には全く異常は認められない。ただガルバ・アンプの筐体は二重構造をしていて、外側筐体と内側筐体とからなりたっているが、両者の接続は筐体前面の4ヶ所でネジ止めしてあるにすぎない。このため両筐体間に相対運動をひきおこし、軽微ながら異常音を発生した。実害は認められないが好ましい現象ではないので、なんらかの耐震機構を付加した方が良く考える。

次にドラム記録部にガルバ・アンプの筐体に対してと同様の要領で、やはり、周波数を掃引しながら振動を与えた(図3.1.7)。ペン圧はペン先において1g重に設定しておいた。比較的重量のある可動部のドラムは、回転方向のギア、あるいは横方向へのスライドのために削られたガイド溝

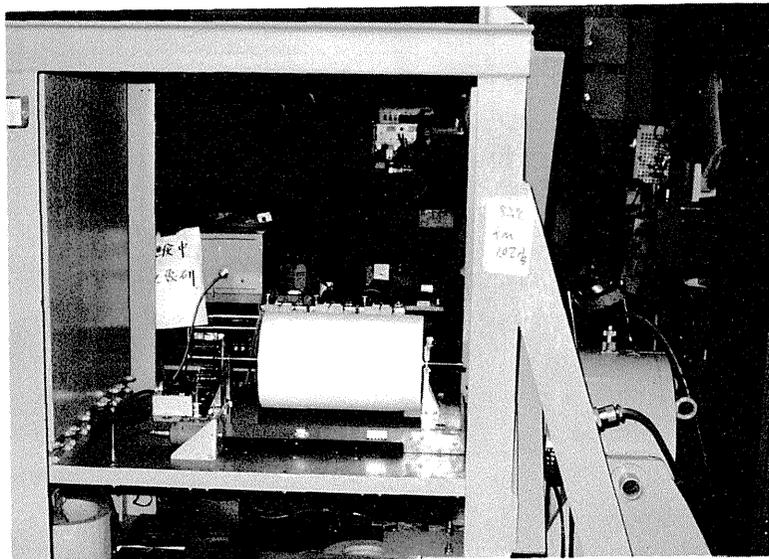


図 3.1.7 アナログ記録器ドラム部の耐震性の試験

に余裕が必要なため、その間隙により、ドラム本体が8.5 Hz付近で共振をおこすことがわかった。この時、記録線が太くなるという現象が見られ、その太さは振動をかける時間が長くなるとともに、太さを増してゆき、ついには1 mmほどの太さにまで達した。図3.1.8は2000Gal^{P-P}の振幅で上下方向に振動をかけた時の、発振器から入力した三角波の記録例である。この程度の障害は、可視記録

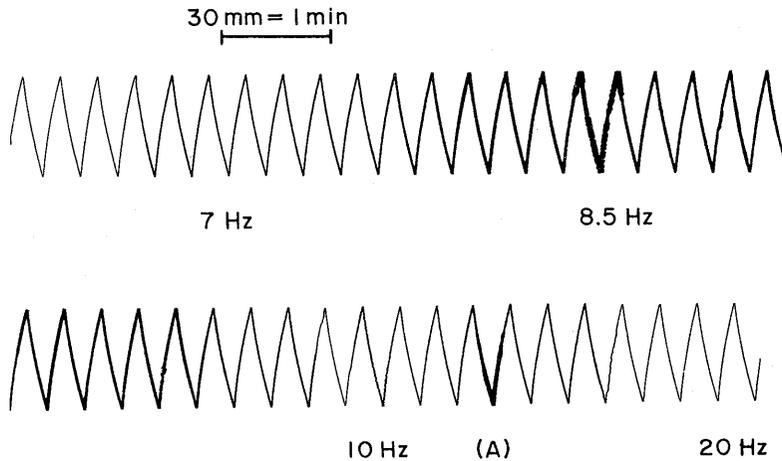


図 3.1.8 ドラムを上下（紙面に垂直）に振動を与えた時の記録例。
 図中の周波数は与えた振動の周波数で、振幅は2000Gal^{P-P}。

器としては、許されてもよい性能であると評価できる。

ドラム部に、左右方向に20Hz, 2000Gal^{P-P}の振動を与えている時、一時、信号が3成分とも断の状態を呈した。いろいろと調べたが自然に回復し、かつ再現もしなかつたので障害箇所および原因はつかめていない。これは重大な障害なので製品には納入前に嚴重な振動試験を施し、接触不安定箇所がないかどうか検査する必要がある。

1.4 デジタル記録器

デジタル記録器にはDC + 25mVを入力しながら、表3.1.5の要領で振動を与えた（図3.1.9）。周波数は5, 7, 10, 15, 20Hzを各1分間ずつ、連続して与えた。但し、No. 2は20Hzの単一周波数である。振幅はすべて2000Gal^{P-P}、No. 5の最後の1分間は3000Gal^{P-P}に上げた。No. 1の試験で、筐体前面の時刻情報の表示が消える事故が発生したが、これは表示用にプリント基板からとりだしているフラットケーブルの接触不安定が原因であり、得られたデータは全く正常であった。そのフラットケーブルをしっかりと固定した結果、後の実験ではこのようなことは再発しなかつた。再現性を

もって認められる現象に“OVER SCALE”のランプが、大振幅になると点灯する、ということがあった。このランプは入力信号がAD変換の動作範囲を越えていることを知らせる警報ランプである。この回路の耐震性について再検討の必要がある。表3.1.6にNo5の実験で得られたテープ1巻分のデータの度数分布を各入力成分毎に示す。入力はDC+25mVであるから10.24 digitに相当する。データはAD変換の精度内で10 digitのまわりに分布していて、振動が加わっていることによる悪影響は全く認められない。

表 3.1.5 デジタル記録器の振動試験実施要領

No.	振動方向	周波数(Hz)	振幅(Gal ^{P-P})	振動時間(秒)	備 考
1	前 後	5 ~ 20	2000	480	(注1)
2	”	20	2000	150	
3	左 右	5 ~ 20	2000	480	(注1)
4	”	5 ~ 20	2000	330	(注1)
5	上 下	5 ~ 20	2000~3000	480	(注1)

(注1) 5~20Hzの正弦波のみならず、実際の地震波形(最大振幅を2000Gal^{P-P}に較正したもの)による振動も与えた。

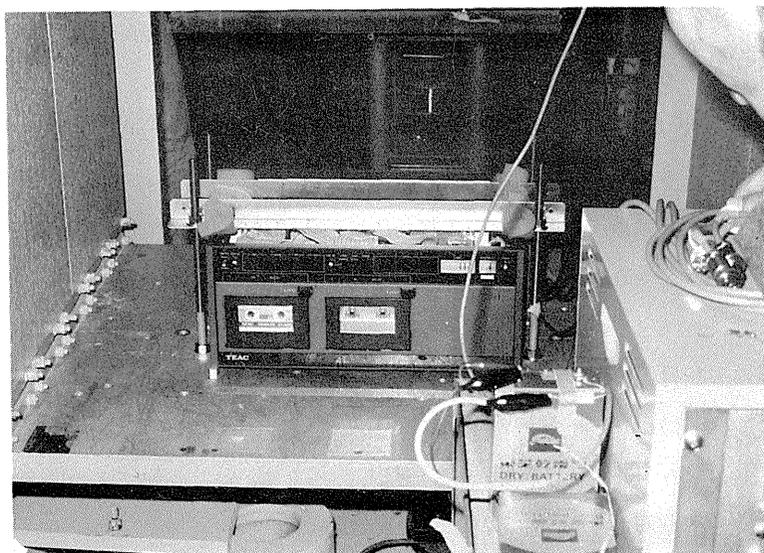


図 3.1.9 デジタル記録器の耐震性の試験

表 3. 1. 6 No. 5(表 3. 1. 5)の実験中に記録されたデータ(入力+25mVDC)の分布(%)

digit	channel			
	1	2	3	4
8	0.0	0.0	0.0	0.0
9	6.2	1.2	2.0	1.4
10	82.7	84.8	81.3	77.1
11	11.1	14.0	16.7	21.5
12	0.0	0.0	0.0	0.0
平均	10.049	10.128	10.147	10.200
標準偏差	0.414	0.369	0.407	0.435

2. 低温特性試験

この強震計を構成する装置にはいろいろな電子部品が使用されている。電子部品については、コストを度外視すれば、 -25°C までの特性が保証された部品を使用することができる。また磁気テープ記録器では当然のことながら、温度によって柔軟度が大幅に変化する性質をもつ磁気テープを、ヘッドに密着させながら安定に走行させなければならない。しかしながら磁気テープ本体には低温特性を明確に保証する製品はなく、一般に、 0°C 以下では使用しないのがよい、とされている。

この強震計の開発に際しては漸定的に環境温度を 0°C と定め、それぞれの機器を製作した。一般的に言って、そのような条件で製作しても、 -10°C とか、それ以下の温度まで、安定に作動することはよく経験している。筆者らは環境温度は 0°C 以上、という条件で、コストを下げて機器を製作し、 0°C 以下における動作は実際に試験して、動作の安定を保証する、という方針をとった。なお、現用の強震計は機械式であるので、温度特性に関しては上下動の零点移動を除いては、ほぼ問題はない。

試作した強震計の各部分の環境温度を、 $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ の間で変化させて特性の変化を調べた(図 3. 2. 1)。なおこの試験は前節の耐震性の評価の前に行われたものである。 0°C までの測定データを検討した結果、問題のないことが確認されたので、後日、更に -15°C までの範囲で、うまく動作するかどうかの評価を行った。その結果、次にのべるように磁気テープ装置も含めて正常に動作することが確かめられた。

2.1 変換器

油制動方式の変換器は第2章2.2節でも述べたように、温度の変化による制動力の変化が直接的に感度を支配するので、これを補償するため、利得に温度特性をもった増幅回路が用意され、同一の筐体に收容されている。この筐体の環境温度を -5°C から 40°C の間で変化させ、温度が筐体内で一様に安定するのに十分なだけの時間を経た後、測定を行った。その結果、次の事がわかった。

まず、感度の変化は増幅器で補償後でも 10°C 当り3~4%の大きさである(10~ 40°C のデータの平均)。補償しない状態だと 10°C 当り30%程度変化するという資料があることからすると、変化率は約1/10に改善されている。3%/ 10°C という値は、後に述べる方式の値と比較して、決して良くない。それに、制動に関係するシリコンオイルの温度分布が、ひとつのサーミスタで代表できるか、という問題も残っている。

上下動変換器は、油の、温度変化による密度変化から浮力が変化し、零位置の移動が認められた。その大きさは実に 10°C 当り 60cm/s の地動速度に相当している。この補償のためには吊りバネの弾性定数に温度依存性をもたせることが考えられるが、バネ材の選択程度ではその実現性が見通しは立たない。また、筆者の経験によれば、そういう加工が新たな雑音を発生する可能性もある。

さらに、これは油制動方式本来の問題ではないが、振子の吊り方がいわゆる、タスキがけ、と呼ばれるものであって、われわれが購入した製品の場合、そのタスキのしめ具合に問題があった。そして、 0°C 以下の環境温度下で固体まさつが発生し、小さな加速度では出力が零のまま、大きな加速度でも波形が歪むという現象が見られた。これらの問題を総合すると、余りにも欠点が多す

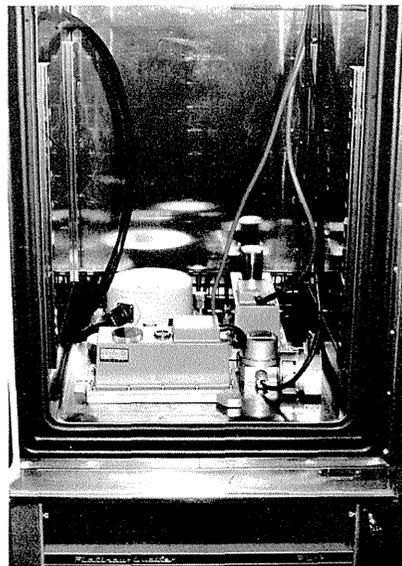


図 3.2.1 変換器の低温特性試験

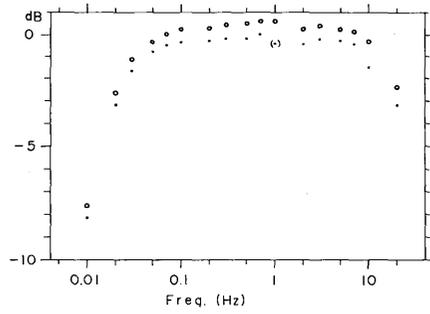


図 3.2.2 速度比例出力の周波数応答の温度依存性。白丸：40°Cにおけるデータ。黒丸：0°Cにおけるデータ。縦軸の0 dBは50 mV/(cm/s)に相当する。

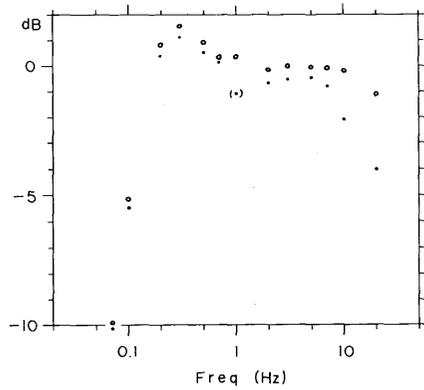


図 3.2.3 変位比例出力の周波数応答の温度依存性。白丸：40°Cにおけるデータ。黒丸：0°Cにおけるデータ。縦軸の0 dBは50 mV/cmに相当する。

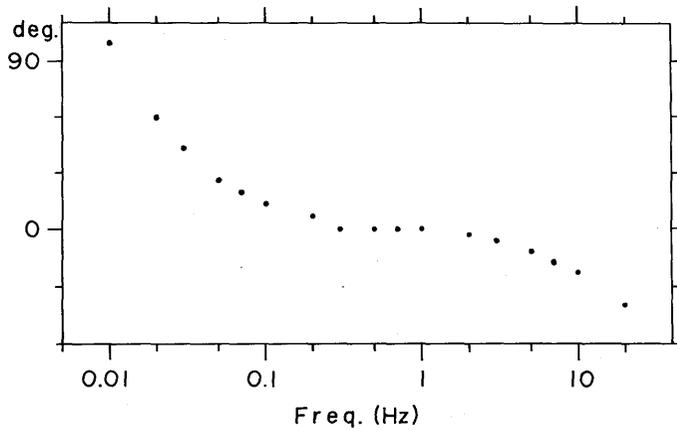


図 3.2.4 速度比例出力の周波数応答（位相）の温度依存性。40°Cにおけるデータと0°Cにおけるデータとの差は1°以内で、この図のスケールでは、両者は一致する。

ざる。われわれは、油制動方式は、少くとも、その方式にもとづいて製作された評価の対象となった変換器は、今の目的の強震計にはふさわしくないと評価する。

速度帰還方式および変位帰還方式にもとづいた変換器の環境温度を $0^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{C}$ の範囲で 10°C ステップで変化させ、コイル抵抗（速度帰還方式のみ）、感度、ドリフト（変位帰還方式のみ）、ステップ応答の変化を測定した。なお等化増幅器は常温下に置いた。感度変化は速度帰還方式の水平動が $0.6\%/10^{\circ}\text{C}$ 、上下動が $0.1\%/10^{\circ}\text{C}$ 以下、変位帰還方式が $0.5\%/10^{\circ}\text{C}$ 以下と認められる。変位帰還方式のドリフトの割合はカタログどおりの $0.05\text{ Gal}/^{\circ}\text{C}$ という値を得た。ステップ応答の温度依存性は全く認められない。以上のように、満足すべき結果を得た。

今回の強震計の変換器としての最優力候補である変位帰還方式の変換器には、更に -15°C までの低温環境にさらして、その特性を測定した。いずれの項目にも異常は見られず、 -15°C までの環境での使用に際して問題はないと言える。

2.2 等化増幅器

この等化増幅器は変位帰還方式の変換器の出力を等化・増幅するように、電圧レベル、インピーダンス、その他が設計されている。この装置の環境温度を 0°C から 40°C まで、 10°C ステップで変化させて、ドリフトの割合、周波数振幅および位相応答を測定した。ドリフトは加速度比例出力が $0.3\text{ mV}/10^{\circ}\text{C}$ 以下、速度比例出力が $5\sim 8\text{ mV}/10^{\circ}\text{C}$ 、変位比例出力が $0.3\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ 以下であった。速度比例出力のドリフトがやや大きい³⁾が、磁気テープに記録されるデジタルデータにして $2\sim 3\text{ digit}/10^{\circ}\text{C}$ 相当であり、4096 digit という大きな動作範囲からすると、問題にすべき量ではないと評価する。振幅応答のレベルの変化、すなわち、記録の感度の変化は、加速度比例出力で $1\%/10^{\circ}\text{C}$ 、速度比例出力で $1.5\%/10^{\circ}\text{C}$ 、変位比例出力で $1.5\%/10^{\circ}\text{C}$ という結果を得た。見方によっては、必ずしも満足すべき大きさではない、との評価もあろうが、主にコストとの関連で、これ位の値が限界である。図 3.2.2～3.2.3 に上下動成分の速度、変位比例出力の振幅応答の温度依存性を示す。位相特性を $0.01\sim 20\text{ Hz}$ の帯域で、速度比例出力についてのみ測定したが、 $0.3\text{ deg}/10^{\circ}\text{C}$ 以下の変化しか認められなかった。図 3.2.4 にそのデータを示す。十分満足することができる。

更に厳しい温度環境を想定して -15°C までの範囲で同様の測定を行ったが、別に異常は認められない。この装置も、それだけの低温下でも十分機能することが期待できる。

2.3 アナログ記録器

ガルバ・アンプの筐体およびドラム記録部の筐体の環境温度を $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ の間で 10°C ステップで変化させ、発振器からの出力を記録した。水平動の合成振幅の表示も同時に読みとった。発振器の周波数を $1\sim 30\text{ Hz}$ の間で、レベルは 20, 40, 100 mV の 3 とおり変化させた。描かれた波形の振幅の温度依存性は $0.3\%/10^{\circ}\text{C}$ 以下であることを確認した。また、ドラムの回転周期は 0°C で 1500 秒、

40°Cで1502秒であり、その変化の割合は0.033%/10°Cと計算できる。これらはいずれも地震験測に際して、特に問題は生じないと評価できる。

2.4 デジタル記録器

環境温度を0～20°Cの間で5°Cステップで変化させ、DC+25mVを入力しながら磁気テープに記録をとり、その記録を再生することにより評価した。10°Cにおける実験中に磁気テープの終りを示すEOTの穴を検出できず、それに伴ってFILE ENDのマーク(2個連続したテープマーク)を書かない、という現象が発生した。磁気テープのEOTの穴も正しくあいていたので、まちがいはなく障害が発生したものと思われるが、現象が再現しなかったので原因は不明である。そのような現象はその後の長い試験観測中にも全く発生しなかったし、もっと低温下でも発生しなかったから、環境温度のせいではないと考えられる。その他には異常は全く見出されなかった。

後日行った、-15°Cまでの低温特性試験でも全く問題が生じないことが確認できた(田ら, 1982)。この点は、この磁気テープ装置と同型の機構部をもつ機種が、南極という低温環境でも正常に動作したという実績(気象庁地震課藤沢格氏, 私信)を定量的に裏づけた点で高く評価できよう。

但し、-15°Cの環境下で大きな加速度を与える、という試験を行ったわけではないので、最悪の条件下まで安定に作動できるということまで確認したことはない。この記録器は可能ならば、テープ交換等の操作性も考えて、居室、すなわち極端な低温環境にならない場所に設置すべきであると考える。

参 考 文 献

田 望, 飯沼龍門, 松本英照, 高橋道夫, 1982: デジタルカセットテープレコーダーの振動・温度特性について. 地震学会昭和57年度春季大会講演予稿集, 77.

松本英照, 高橋道夫, 1976: 地震計電磁変換器の検定方法とその精度について. 気象研究所研究報告, 27, 129 - 140.