

## 第4章 あとがき\*

### 1. 強震計発達の歴史

#### 1.1 初期の強震計

83型強震計が完成し、全国に展開されると気象庁の地震観測史上、大きなエポックになると考えられる。ここで気象庁（東京気象台，中央気象台）における100年余りの強震計発達の歴史をふりかえってみる（宇佐美，浜松，1967；飯沼，1973；浜松，1981）。

1875年（明治8年）6月1日東京気象台が創立されると同時に Palmieri 式地震計が購入設置され地震観測が始められた（浜松，1966）。この地震計は一種の強震計で，U字管に水銀を満し，水銀面に錘を浮かべこの錘に滑車を介してカウンターバランスを取り付け釣り合いを取っておくものである。一旦，地震があると水銀面が動揺して錘が押し上げられ最大位置に停止する，この位置での滑車の回転角を測定し，それを地震の強さとしたものである。この地震計は，1883年（明治16年）まで使用されている。この間に観測された年間最大地震数は1880年の74回である。この年の2月22日東京湾を震央とするいわゆる直下型地震（M5.9）が起り東京・横浜を中心として被害があった。

これを契機として日本地震学会が創立され，地震計の考案にも力が入られるようになった。振子を不動点とみなす Gray・Milne 式銚（かすがい）形験震器が考案されたのもこの頃で1883年から観測に使用された。この銚形とは別に Milne の考案による簡単地震計が，取扱が簡単で，かつ安価のため広く使われるようになった。この地震計は，原理的には鉛直振子（振子長約60cm）の下に拡大針を取り付け，いぶしガラス板へ震動記録を書かせたものである。また，その後一時期，Ewing 式地震計を改良した関谷式も使われたようである。関谷式は鉛直振子と倒立振子を組み合わせ，固有周期をのばす工夫がされている。記録はいぶしガラスをペン先でひっかく方式である。

強震計として水平動を直交2成分に分解し，回転するドラムに記録するようになったのは，1900年に製作された大森式強震計からである。その10年後には今村式の強震計も開発され，これは年間最大2台のペースで全国展開された。

1923年の関東地震後から1927年にかけて，大森式強震計を主体として約20台の強震計が全国の観測所に整備された。しかしその後，3成分，制振器付きの中央気象台式が開発されるにともない，大森式，今村式は漸次中央気象台式に更新されていった。1960年には大森式，今村式の強震計は気象庁の現役の測器からは完全に姿を消すに至った。これら3種類の強震計の主なる規格を表4.1.1に示す。

中央気象台式強震計は1927年から展開が開始されたが，1941年は更に新型気象台式強震計（41型）として大きな改良が行われて固有周期も長くなった（中央気象台地震課，1942）。この両式を合せ1940～49年頃にかけて全国で40台前後が稼動していた。

\* 執筆担当 飯沼龍門（1節），高橋道夫（2,3節）

表 4.1.1 気象庁が1900~1940年頃まで展開した強震計の規格

規格	型名	大 森 式	今 村 式	中央気象台式
固有周期	大森式強震計は関東震災後1927年までの間に20台近く配備されたが、規格についての文献がない		10 秒	3~5 秒
倍 率			2 倍	1 倍
成 分 数			水 平 2 成 分 (途中より上下成分が入る)	3 成分
制 振 器			な し	制振度 2.5~3 マグネット方式
ドラム送り			約50mm/分	約30mm/分
起 動 器			ゼンマイ起動・テンプ調速	ゼンマイ起動・テンプ調速
垂 錘			2 kg (上下ピポットの荷重が同じ)	水 平 2 kg 上 下 1.1 kg
そ の 他		1900年より配備	1910年より配備	1927年より配備

1.2 50 型強震計

1950年には41型をモデルとした、50型強震計が気象測器製作所(気象測器工場の前身)で開発された(酒井, 1951; 図 4.1.1~3)。1951年と52年に更に改良が加えられ、それぞれ51型, 52型と称されている。これらは1961年まで、表 4.1.2 に示した数だけ、全国の観測所に配備された(父島, 沖縄には復帰後)。これにともない、41型強震計も現役からは姿を消した。41型, 50~52型強震計の主な規格を表 4.1.3 に示す。

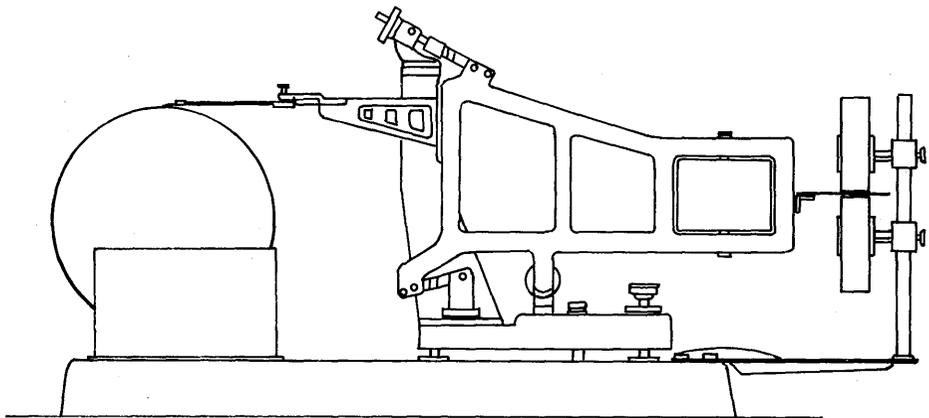


図 4.1.1 50型強震計の構造(水平動)

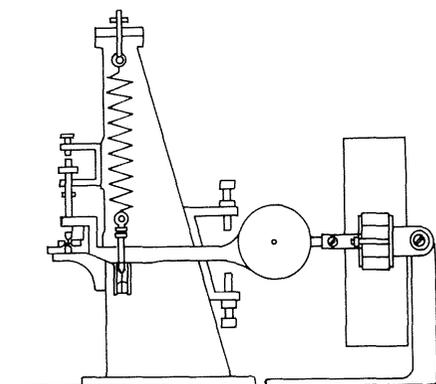


図 4.1.2 50型強震計の構造（上下動）。

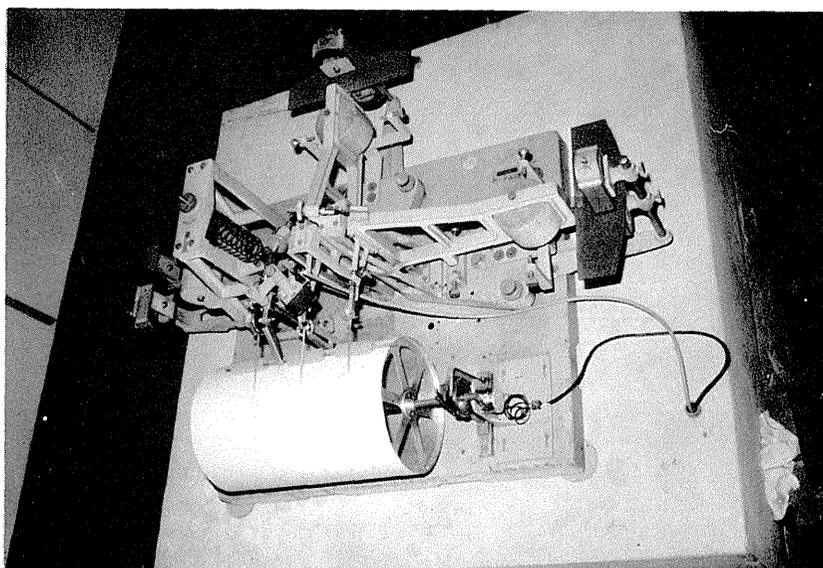


図 4.1.3 51型強震計の外観（御前崎測候所）。

表 4.1.2 50～52型強震計の年次別設置数（諏訪，長宗，1975）

年	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	計
台数	15	26	27	2	7	1	0	0	8	10	6	4	106

表 4. 1. 3 41型・50型・51型・52型の強震計の規格

	単 位	41 型	50 型	51 型	52 型
記録成分		水平 2成分 上下 1成分	水平 2成分 上下 1成分	水平 2成分 上下 1成分	水平 2成分 上下 1成分
固有周期	秒	水平 7 上下 5	水平 6 上下 5	水平 6 上下 5	水平 6 上下 5
倍 率		1	1	1	1
制 振 器		制振度 3 マグネット アルミ板	制振度 8 マグネット 銅板	制振度 8 マグネット 銅板	制振度 8 マグネット 銅板
摩 擦 値	mm	0.01	水平 0.04 以下 上下 0.05 以下	水平 0.04 以下 上下 0.05 以下	水平 0.04 以下 上下 0.05 以下
記録送り	mm / min	25	30	30	30
起 動 器		ゼンマイ式 (テンプレ付)	ゼンマイ式 (ガバナー付)	ゼンマイ式 (ガバナー付)	ゼンマイ式 (ガバナー付)
垂 錘	kg	水平 4 上下 3	水平 4.5 上下 2.2	水平 4.1 上下 3.0	水平 4.2 上下 3.0
そ の 他		フレーム：アルミ合金 ドラム：木 製 上下支点：ピボット	フレーム：鋳 鉄 ドラム：アルミ製 上下支点：パ ネ	50型シリーズにはこの他52改型と52B型の5種類があり相当振子長及び重心距離が年式により多少変っている。	

### 1. 3 50型強震計の改良

50型シリーズの強震計は震度5の強い方になると、記録はふり切れ、更に水平成分の振子の釣り板バネに損傷を生ずる事故が多発した。また、ゼンマイバネを駆動力とし、フリクションガバナー回転速度調整器を介在させた起動機は、強震の発生とともに止まってしまうこともあるなど、強震計としては基本的な欠陥がめだつた。この他にも、観測運用上にも時代の変遷とともに、主として部品の手配に困難が生じてきた。これに対処するために、気象測器工場と地震課の両者により、50型強震計の改良が行われてきた。その経過と概要を以下に述べる。

#### 1) 釣り板バネの損傷の対策

1961年2月27日の日向灘地震の際、宮崎地方気象台の強震計の水平動成分の上下の釣り板バネが両成分共に切れる事故が発生し機構の再検討が要求された。

気象測器製作所では、この問題を解決するため、水平成分の釣り板バネを厚さで3種類、長さで3種類の組合せ、線状バネで4種類、十字線バネで2種類の計15種類のバネを試作し、さらに、振子の重錘の重心の位置で振れ幅を制限する振れ幅めを追加して、上記の事故の防止を図った(矢崎、

1962 a, b)。評価試験では、静的試験と衝撃試験の6項目について実験を行い、主としてバネの損傷についてチェックしている。この後行った振動台によるテスト結果により重錘の位置にフレ止めをつける改良が最も効果的で、釣りバネは従来のまゝでよいことが確認された。1962年、地震課で全数のフレ止め部品を製作・配布し、現地でフレームに取りつけ加工を行い、ただちに実用化された。この結果、事故の件数は大幅に減少はしたが、皆無には至らなかった。

#### ii) 記録振幅の拡大の試み

測定最大振幅 ( $6 \text{ cm}^{\text{P-P}}$ ) を拡大する試みとして、重錘のフレ止めに固定型とせず、直角形の腕で受けその先にバネと空気制振器を組合せたショックアブソーバーを取り付けた装置を試作して試験が行われている(矢亀, 1971)。この結果、最大全振幅は水平成分で6cmが10cmに、上下成分で5cmが8cmまでそれぞれ拡大しうることが確められた。振子がフレ止めに接触するまでは、従来の性能で作動するが、接触を始めると振子の自己周期が6秒から0.5秒へと短くなって特性が変化し、記録の処理が複雑になることがわかり、従ってこの方式はテストのみで実用化はされなかった。

#### iii) 起動機の改造

ゼンマイバネ原動力、フリクションガバナー調速方式の記録ドラム用起動器は、振動試験の結果約2 Hzの水平成分1方向のみの振動に対しても300Gal程度で機能を失うことが確められた。このことは3方向の振動が複雑にかゝった場合には震度5で機能を失うものと推定される。その対策のためと、また一方ではゼンマイバネの入手が困難になった事情も勘案して、停電時でも作動する強震計専用の電動式起動機の開発が気象測器工場で行われた(小野崎, 1971; 小野崎, 川上, 1971; 小野崎, 1972)。この起動機は3WのACシンクロナスモーターを駆動源とし、その電源には常時は商用のAC 100Vを使用し、停電時には、DC 12V(自動車用バッテリー)を使用し、トランジスター(改造後はIC)によるCR発振回路で基準周波数(50 Hz又は60Hz)を作る簡単なDC-AC(100V)コンバーターと、バッテリーへ常時フローティング充電を行う充電装置とを組合せたものである。実用テストの結果に基づき一部に改良を加へ、1972年に16台を製作して全国へ配布したのを手始めにその後3年間程で全官署の起動機はこの型に改造された。

#### iv) すず書き記録の中止

すず書き記録には良い面も多いが、緊急観測時に誤まって手を触れると記録が消える、毎日のくん煙ニス掛けは不衛生でしかも、ニスかんの爆発やプロパンガスによる火災事故の危険をとまなっている、等の理由で、改造の要求も、年々高まってきていた。また、記録紙のマイクロフィルム化が試行されたが、すず書き記象紙はコントラストが悪く、加えてマイクロフィルムのラティチュードが小さいこともあって、仕上がりが非常に悪かった。これらのことから、気象測器製作所において、インク書き化の検討が行われた(小野崎, 1965, 気象測器製作所, 1968)。

記録ペンには、外径0.3mm内径0.2mmの市販の自記記録ペンを使用、インクには速乾性赤色インクを採用している。インクつぼは、記録ペンアームに取りつけ、水圧により過大にインクが流出す

るのを防止するため、液面がペン先の高さよりも高くない位置に取りつけた。記録紙はすす書き用(アート紙)とは別にこれに適した用紙の選定を必要とした。テストの結果、記録線の太さが、すす書きと比べて、約2倍(0.2mm)以上、摩擦値は10~20%程度の増加が認められたが、運用上はより望ましい方式であると判断された。しかし、実際に使用してみると、ペン先にドラム上のほこりが付着し、次第に太くなるという欠点が発見された。そのための対策は門脇(1970)、小野崎(1973)に詳しく述べられている。これ以後、手入れをよくすれば記録線も細くなり、すす書きにほぼ匹敵する記録を得ることができるようになった。

#### V) 隔測化

最近、気象官署も合同庁舎に入る事例も多くなり、気象庁関係は気象観測を重点とするためビルの上層階に室が割り当てられる例が多くなった。このため、地震計室が遠くなるか、あるいはやむ得ず上層階に強震計を持ち込む事例が多くなり、強震観測の質の低下にかゝる問題となっている。また、全国整備の気象資料伝送網では、各管区気象台まで強震計の記録をオンラインで伝送することが前提として計画がすすめられた。このような理由からとりあえず現用の強震計に手を加える程度で隔測化を進めなければならない事態も発生している。

西山ら(1980)は50型強震計の原型に、なるべく手を加えないで、かつ振子の動きに影響を与えることのない、機械運動を電位に変換する変換器をさがした。その結果、大きな変位を検知し非接触機構である、渦電流効果による変位変換器が最適であると結論づけた。この変換器は、ピックアップコイルに常時1MHzの基準電圧を印加して一定の磁束を発生させておく、このコイルに対向するアルミ板(強震計の振子アームの中間へ取り付け)が動くことにより磁束密度が変る、この変化をピックアップコイルで検知して変位の変化に比例した電圧へ変換するというものである。この磁束密度の変化は、ほぼ変位の対数に比例するのでこの特性を変位比例に変換するため、復調器に対数増幅回路を挿入して出力を得ている。この外、振子の運動が円運動をするので左右非対称となるため、その補正も行い記録上で波形の歪が無視できる程度にしてある。

水戸地方気象台で約半年にわたってテストを行った結果、最大振幅の比較で最大10%程度の誤差を生ずる例もあったが、大半は良く合致した。

この結果を踏まえ、この装置は1981年度から稼働を始めた気象資料伝送網の強震計テレメータの変換器として使用されている。

以上みてきたように、気象庁における強震観測は時代の要請と技術の進歩、およびその時々に関係者の努力に支えられ、100年をこえる歴史をきざみ記録の蓄積をうるに至った。しかし、強震計に対する最近の要求には50型のような機械式地震計では、これに応えることが困難となってきている。ここに83型強震計が誕生した背景がある。

## 2. 開発研究遂行の体制

この研究は1977, 78年度については経常研究「地震測器の研究」で、1979年度からは、5ヶ年計画で始まった、特別研究「地震予知に関する実験的および理論的研究」の中のサブテーマ「常時地震監視システムに関する開発研究」の内のひとつとして行われた。担当者を表4.2.1に示す。この表には、この報告書の執筆の分担も同時に示した。

表 4.2.1 強震計の開発担当者一覧

氏名	所属	担当年度	執筆担当
田 望	地震火山研究部長 (主任研究者)	1978-81	——
渡辺 偉夫		82	序
飯沼 龍門	第3研究室長	77-81	第4章の一部
松本 英照	第3研究室主任研究官	77-82	第3章の一部
高橋 道夫	第3研究室研究官	77-82	第1,2章と第3章の一部, 第4章の一部

## 3. 謝辞

この研究は次に記す多くの機関および個人の御協力、御教示によって遂行された。すなわち、全装置総合の耐震性評価のための共同研究を心よくひきうけて下さり、その上、大型振動台を使用させて頂いた国立防災科学技術センターの第2研究部耐震実験室の方々、実用化のための試験観測を共同で行っている仙台管区気象台の市川政治・調査課長、石橋辰作・観測課長はじめ関係者の方々、この開発が始まるや、いち早く加速度変換器JA-4を無償で提供された浅田敏・東海大教授、気象庁における強震観測の意義をよく理解されて、変換器に関する手もちの資料を心よく提供された村松郁栄・岐阜大教授、工学的視点に立った強震計を製作し、その経験等をきかせてくれた太田裕・北海道大学教授はじめ工学部建築工学教室耐震工学研究室の方々、日頃から強震観測に深い造詣を有し、終始御鞭撻を頂いた当研究部の勝又護・主任研究官はじめ同僚の方々、ユーザーの立場から有効な御教示、御叱正を頂いた気象庁地震課の竹山・火山室長はじめ地震課、地震予知情報課の方々、そして最後に原稿に目をとおり、適切な意見をいただいた当研究部の清野政明・第1研究室長。以上の方々に御礼を申し上げる。

また、この強震計が完成するまで予算関連業務において御尽力いただいた増田武ならびに原田朗

・企画室長をはじめとする企画室の方々に敬意を表する。

なお、この強震計の製造、評価は次に記す業者に発注した。すなわち、変換器および等化増幅器が日本航空電子、ドラム式可視記録器が勝島製作所、カセット式デジタル磁気テープ記録器および処理装置がTEAC、無停電々源が新電元、評価は主として明石製作所の設備を借用、この他に変換器の候補機種として沖電気、および東京測振である。各社はいずれも、強震観測の重要性をよく認識し、今回の開発成功の基となる御協力をいただいた。ここに御礼を申し上げる。

### 参 考 文 献

- 中央気象台地震課，1942：新型気象台式強震計の紹介．測候時報，13，161～163．
- 浜松音蔵，1966：地震観測のあけぼのと Palmieri 地震計．測候時報，33，189～192．
- 浜松音蔵，1981：地震観測史．日本の地震学百年の歩み，第1部第3章1節．地震，2，34特別号，73～91．
- 飯沼龍門，1973：気象庁の地震観測の歴史・現状と将来．気象，9月号，3668～3670．
- 門脇孝延，1970：59型インク書き電磁地震計の細書きと記象紙面のごみの防除法について．測候時報，37，273～275．
- 気象測器製作所，1968：一倍強震計の記録方式改造（インキ書き方式）の現況．測候時報，32，38～39．
- 西山宏，鈴木宣直，川上保，1980：強震計の隔測化．測候時報，47，45～50．
- 小野崎誠一，1965：一倍強震計の記録方式改造．測候時報，32，194～197．
- 小野崎誠一，1971：一倍強震計用電動式起動機．測候時報，38，82～84．
- 小野崎誠一，川上保，1971：一倍強震計の振動試験．測候時報，38，103～105．
- 小野崎誠一，1972：一倍強震計用電動式起動機（改良型）．測候時報，39，60～61．
- 小野崎誠一，1973：一倍強震計ゴミ取装置．測候時報，40，100～101．
- 酒井乙彦，1951：50年型強震計の紹介．測候時報，18，205～208．
- 諏訪彰・長宗留男，1975：地震・火山．気象百年史，II，第14章，439～456．
- 宇佐美龍夫，浜松音蔵，1967：日本の地震および地震学の歴史．日本の地震学の概観，第1篇，地震，2，20特集号，1～34．
- 矢亀記一，1971：一倍強震計ばね制動装置．測候時報，38，85．
- 矢崎敬三，1962a：1倍強震計バネ強度測定試験報告．験震時報，27，17～21．
- 矢崎敬三，1962b：測器の紹介及び説明：地震．測器要報，7，1～3．

# 気象研究所

1946（昭和21年）設立

所長：理博 松本 誠 一

予報研究部	部長：理博	片山	昭
台風研究部	部長：理博	相原	正彦
物理気象研究部	部長：理博	岡林	俊雄
応用気象研究部	部長：	村山	信彦
気象衛星研究部	部長：工博	内藤	恵吉
地震火山研究部	部長：理博	渡辺	偉夫
海洋研究部	部長：	多田	利義
高層物理研究部	部長：理博	嘉納	宗靖
地球化学研究部	部長：農博	大和田	守

## 気象研究所技術報告

編集委員長：岡林 俊雄

編集委員：秋山孝子 椎野純一 佐粧純男  
荒川正一 穂田巖 清野政明  
遠藤昌宏 廣田道夫 杉村行勇

事務局：西田圭子 西村浩弥

気象研究所技術報告は、気象学、海洋学、地震学、その他関連の地球化学の分野において、気象研究所職員が得た研究成果に関し、技術報告、資料報告及び総合報告を掲載する。

気象研究所技術報告は、1978年（昭和53年）以降、必要の都度刊行される。

昭和58年3月31日発行 ISSN 0386-4049

編集兼発行所 気象研究所

茨城県筑波郡谷田部町長峰1-1

印刷所 アサヒビジネス株式会社

TEL 0298 (51) 7411