

震研 90 型水管傾斜計の開発と観測

—メカニカルな拘束のないフロート型—

石井 紘・松本滋夫・鈴木喜吉・平田安廣
高橋辰利・若杉忠雄・渡辺 茂・加藤照之

東京大学地震研究所

(1991年12月27日受理)

Development of a New Water-Tube Tiltmeter (ERI-90 Type)

—Float Type without Mechanical Suspension—

Hiroshi ISHII, Shigeo MATSUMOTO, Kiyoshi SUZUKI,
Yasuhiro HIRATA, Tatsutoshi TAKAHASHI, Tadao WAKASUGI,
Shigeru WATANABE and Teruyuki KATO

Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

(Received December 27, 1991)

Abstract

We have developed a simple water-tube tiltmeter (ERI-90 Type) which is equipped with a float without mechanical suspension like plate spring. This tiltmeter is so simple compared with presently popular water-tube tiltmeters that stable and high quality data have been recorded. The tiltmeters have been installed at several stations in Japan and China, and high quality data have been accumulated.

1. はじめに

読み取りタイプの水管傾斜計に代わり連続観測の可能な水管傾斜計をはじめて観測に用いたのは江頭(1965)で、水位変化を光学的に印画紙で記録する方式であった。電気的な変換方式による自記水管傾斜計が出現したのは1972年頃からである(嶺ほか, 1972)。その後、地震研究所において開発された水管傾斜計(地震研究所技術部, 1973)が基本型となり、各大学において独自のタイプの自記水管傾斜計(例えば、加藤, 1973, 山内, 1974, 石井ほか, 1977ab, 志知ほか, 1980)が製作され、ルーチン観測に用いられた。これらの水管傾斜計は傾斜の自動観測計器としての機能を果たし地殻変動連続観測に貢献している。さらに、フロートを用いない水管傾斜計の開発(山内, 1992)も試みられている。また、アームがなく板バネとフロートからなる水管傾斜計(佐藤, 1978, NIE *et al.*, 1985)も用いられているが、ほとんどの水管傾斜計はフロート・アーム・板バネの系からなり、複雑な機構を構成している。このような水管傾斜計に関しては理論的に研究されている(石井ほか, 1977ab, 志知ほか, 1980)けれども、計器セット、調整、感

度検定などにおける作業量の多いことおよびドリフトの問題点も明らかになってきた。今回、それらの問題点を解決したシンプルでフロートにメカニカルな拘束のないフロートタイプの水管傾斜計を製作し、数カ所の観測点において連続観測を実施した結果、良好な結果が得られているので報告する。

2. 従来の水管傾斜計の特徴と改良点

地震研究所において従来から使用している水管傾斜計（地震研究所技術部，1973）は Fig. 1 と Photo 1 に示されているが、これはその後の水管傾斜計の基本となったものである。基本的な構成は、板バネ、アーム、フロートからなっている。アームには変位-電圧変換センサーが取り付けられているが、これらは4本の支柱により支えられた上板に固定されている。水位変化はフロートの変位に変換され、板バネを介してアームの変位に変換されたのち、変位センサーにより電気出力として取り出される。現在までの長年の経験によると以下のような問題点を指摘することができる。

- 1) 板バネとアームを使用することにより水位変化によるフロートの上下変化は直線ではなく円弧の変位を示す。
- 2) バネに関しては、大部分は板バネを使用しているためバネにクセ（弾性的歪み）がある場合には、永年的なドリフトの原因になると考えられる。
- 3) 上板を4本の支柱とのネジ止めで支え、かつ上板をネジで締め付けることによりポットも固定しているが、その締め付け具合が難しく永年的なドリフトを生ずる原因となることが考えられる。
- 4) 板バネを使用しているために感度検定においては水位変化によるフロートの変位およびフロート変位によるセンサー出力の二種類の測定が必要である。
- 5) マグネセンサーを使用している場合が多いが、クリアランスの変化により感度が変化するため感度検定を頻繁に行なう必要がある。またセンサーの変位測定範囲は1 mm と範囲が狭い。
- 6) マグネセンサーなど磁気センサーを使用している場合にはセンサーの吸引力の影響

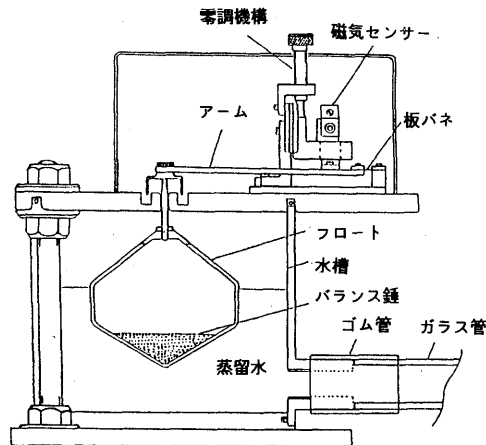


Fig. 1. Water-tube tiltmeter employed in the past by Earthquake Research Institute, The University of Tokyo (after ERI, 1973).

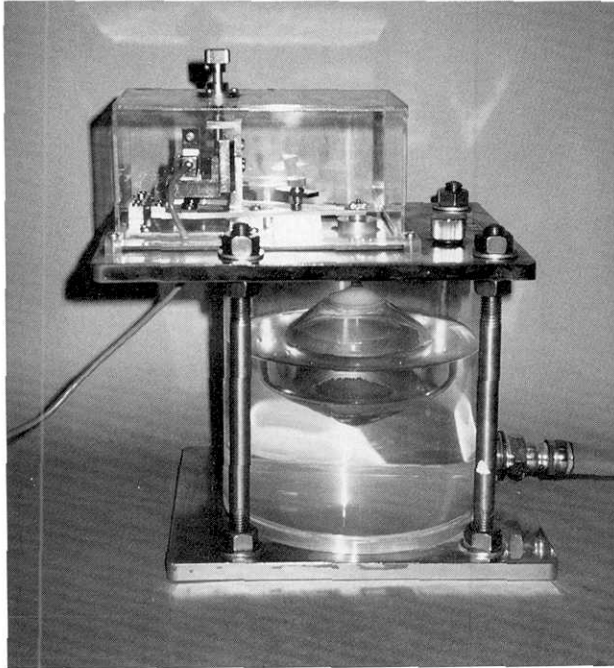


Photo 1. Water-tube tiltmeter employed in the past by Earthquake Research Institute, The University of Tokyo (after ERI, 1973).

を考慮する必要がある。

以上の問題点を考慮して新しい震研 90 タイプの水管傾斜計を設計した。

3. 新しい水管傾斜計の原理と構造

前節の問題点を考慮して震研 90 型の水管傾斜計は以下のように設計した。

- 1) フロートは板バネなどにより固定せず、メカニカルな拘束のない方式にする。
- 2) 水位変化によるフロートの変位を円弧変位ではなく直線変位にするため、アームを使用せず、直接フロート変位を測定する。
- 3) 変位センサーとしては（マグネセンサーのような）クリアランスの変化により感度の変化するものを使用せず、フロート変位を直接測定する渦電流センサーを用いる。
- 4) 従来、上板は 4 本の支柱とのネジ止めで支えていたが、支柱を使用せず、上板はポットに載せるのみで自重で支え、ポットも三角台に載せて自重で支えるとともに横から軽く固定する。
- 5) 構造をシンプルにするとともに三角台およびポットは岩盤には固定せず自重のみで支える。

以上の点を考慮して製作した水管傾斜計システムのスケッチを Fig. 2 に示した。中間部は感度検定装置であるが詳細はほかの機会に報告する。

Fig. 3 にはポット部分を示す。水管傾斜計のポットは硬質ガラスで製作し、センサーや微調部分を固定するための上板を載せるためにポット上部に耳を付け、その面をスリ

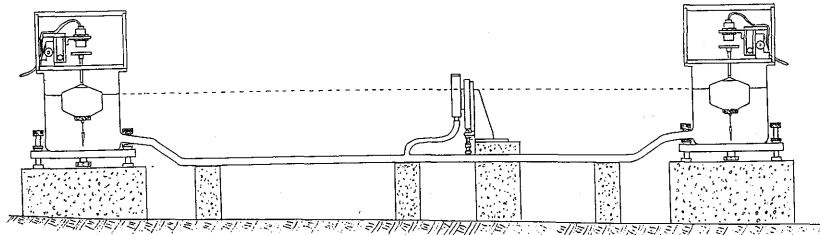


Fig. 2. Schematic view of ERI-90 type water-tube tiltmeter system.

Table 1. Comparison between different water-tube tiltmeters.

	従来水管傾斜計	震研90型水管傾斜計
全体的特徴	構造複雑, 調整微妙 初期ドリフト大	構造シンプル, 調整容易, 初期ドリフト小
フロート支持方式	板バネ	メカニカルな拘束なし (弱いマグネット)
フロートの変位	円弧変位	直線変位
変位センサー	クリアランスの変化により 感度が変化 (磁気センサー)	フロート変位を直接測定 (渦電流センサー)
センサー取付盤の支持方式	4本の支柱にネジ止め	支柱なし (ポット上に自重で据置)
ポット支持台の固定方式	岩盤に締め付け固定	自重で据置
フロート変位測定レンジ	1 mm	5 mm

ガラスにして摩擦を大きくし, 上板は自重だけで持たせ, ネジ止めはしてない。

フロートは重心をできるだけ下にするために船底に似た形にし, 鉛の散弾とパラフィンを入れ, パラフィンを溶かした状態でバランスをとったのち固化することにより散弾を固定した。フロート上部には支柱を立て, アルミの円盤を取り付けた。この円盤の上下方向の位置変化が渦電流センサーにより検知される。フロートはメカニカルには拘束されていないが, フロートの横移動を押さえるためにフロート底面から磁性材の針を釣り下げる。磁性材としては錆びにくい金属としてコ・エリンバーを使用した。ガラスポットを載せる三角台の中央にネジ穴を開け, 上下に自由度を持たせるためのネジ上に円形のマグネットを置いた。このマグネットの吸引力によりフロートの針の位置を中心に保ちフロートの横移動を防ぐ。マグネットの役目はフロートの横移動を防ぐことであるので非常に弱いもので十分であり, ネジの上下移動による磁力の調整も可能である。ノイズの小さい静かなところでは表面張力のみでフロートは中心に停止し, マグネットが不要となる場合もある。

上板には渦電流センサーを取り付けた微動装置を固定した。センサーは増幅器を内臓しており, 検出範囲は 5 mm, 感度は約 2.1 volt/mm 程度である。従来のマグネセンサーの場合には検出範囲は 1 mm 程度であった。

ポットにはアクリル製の円筒カバーを載せるとともに, 上部の平面円盤のみを外すこ

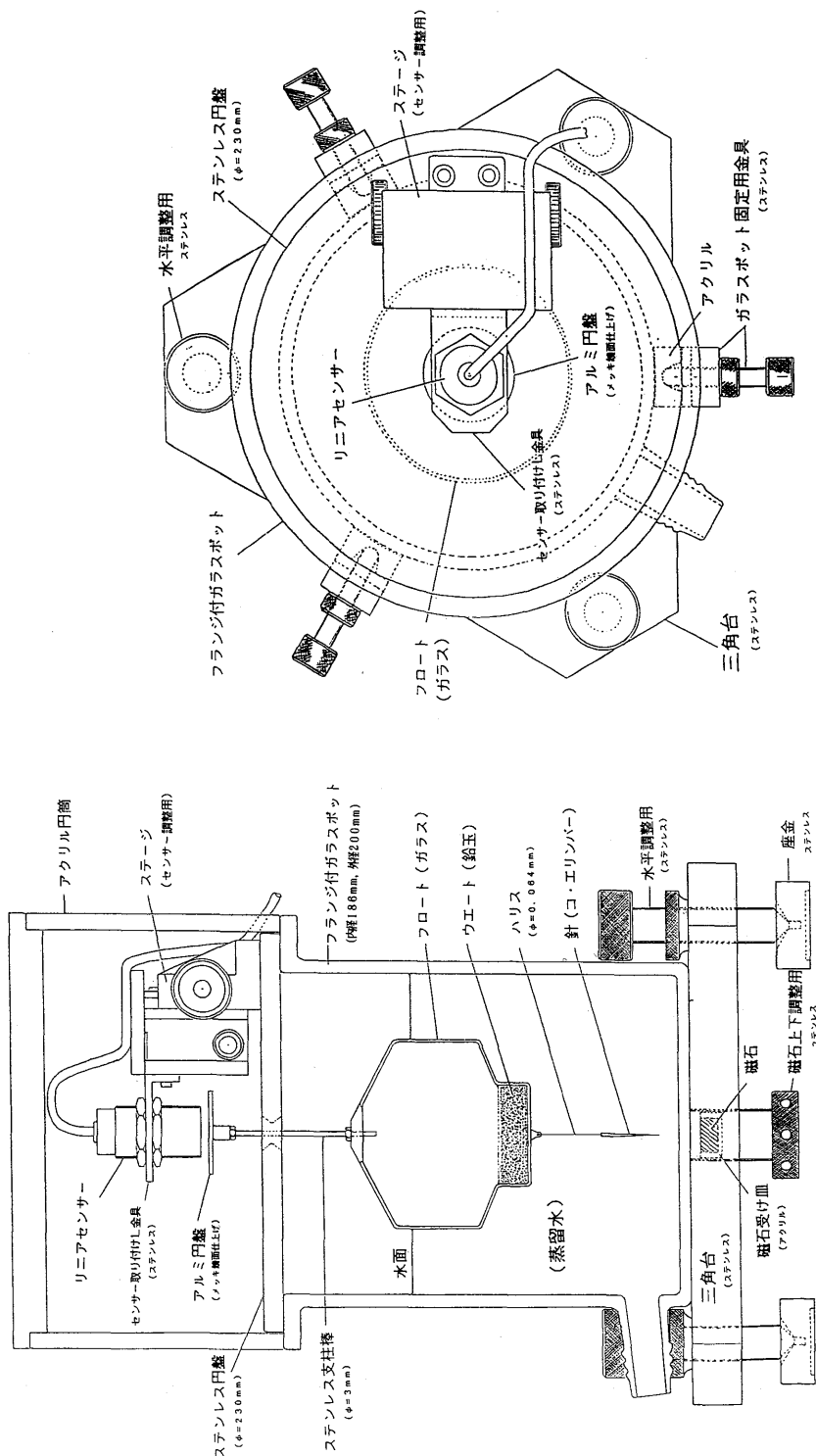


Fig. 3. Schematic view of observation pot of ERI-90 type water-tube tiltmeter.

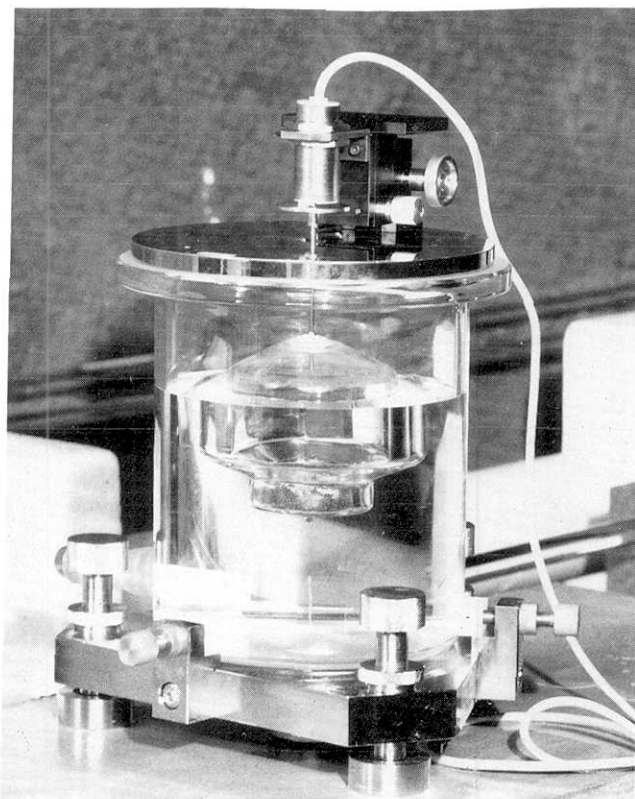
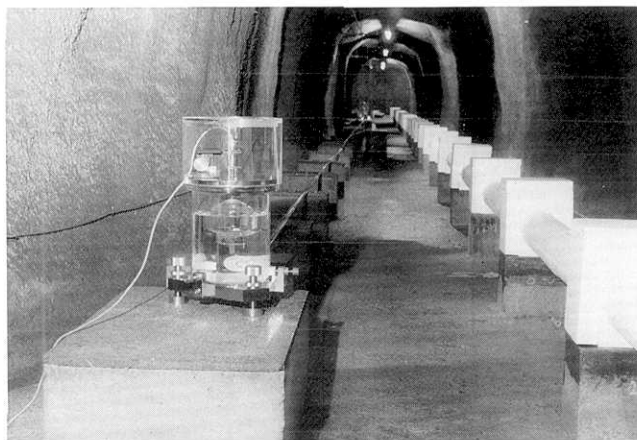


Photo 2. Newly developed water-tube tiltmeter.

とによりフロートおよび微動装置の調節を可能にした。ポットは基本的には固定せず自重のみで固定するため、底面はスリガラスにし、横移動を防ぐための摩擦を大きくした。三角台にはポットの水平位置を調節するネジを三箇所に取り付け、横移動を止める役割

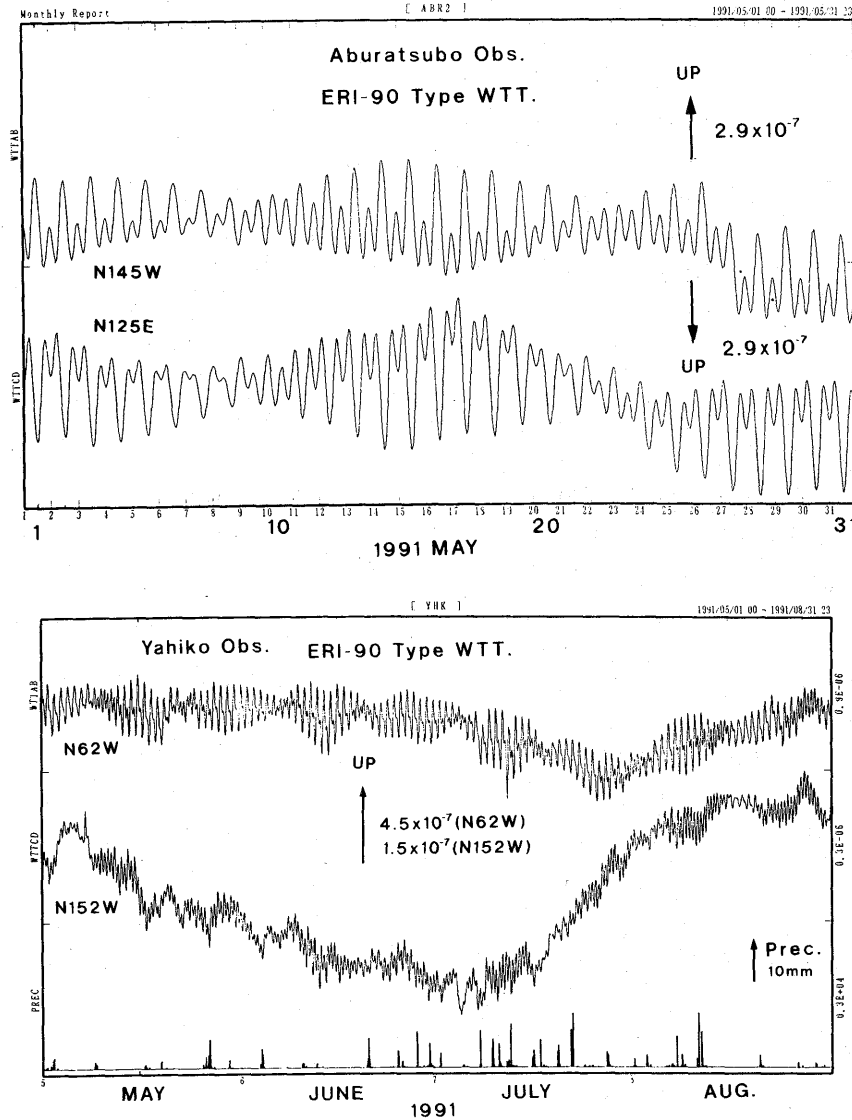


Fig. 4. An example of observation by ERI-90 type watertube tiltmeter at the Aburatsubo and Yahiko stations.

も持たせた。震研 90 型水管傾斜計を Photo 2 に示した。

また従来の水管傾斜計と新しい水管傾斜計の比較を Table 1 に示した。

4. 新しい水管傾斜計の特徴と観測結果

新しい震研 90 型水管傾斜計の特徴としては、前節で述べたことのほかに幾つかの点を指摘することができる。構造がシンプルになったため、計器のセット、調節や水の交換などの作業が容易になった。またネジの締め付けなどの部分がないため、器械的な原因によるドリフトが非常に小さくなった。観測場所の温度になじませた水を用いた場合

にはセットして数時間後にはドリフトなく地球潮汐を記録し始める。また原理的に感度の変化が小さいため長期的に安定した高感度の観測が可能である。

従来の水管傾斜計の場合、水位が ΔD_w 変化しフロートが $\Delta D'$ 変化したとすると、フロート変化と水位変化の関係は志知ほか (1980) によると

$$c = \Delta D' / \Delta D_w = 1 / (1 + k_r + k_s)$$

としている。c は縮小係数と呼び水位変化に対するフロート変位を表しているがバネその他の影響により 1 より小さい値である。k_r と k_s はそれぞれバネ定数と吸引定数と呼び、バネ定数、計器の寸法、センサーに関係した値で、感度検定の場合には測定する必要がある値である。しかしながら、ここに記した震研 90 型水管傾斜計の場合には構造が非常にシンプルになっているため、感度を検定する場合に使用する上記の式の適用の必要はなくなっている。

現在、震研 90 型水管傾斜計により観測を実施している観測点は網代、内浦、弥彦、油壺と中国の宜昌の 5 カ所であり良好なデータが得られている。Fig. 3 には油壺 (ABR2) 観測点の月報と弥彦 (YHK) 観測点の 4 カ月の観測例を示す。地球潮汐が明瞭に記録され、永年の変化も安定している。

謝 辞

フロートのバランスについては種々の実験をしていたところ名古屋大学の山内常生博士の意見により、針とマグネットを用いる方式を採用し良好な結果を得た。ここに記して感謝いたします。中尾 茂博士には図の作成に協力していただき、地震研究所のレフェリーの方には有益なコメントを頂きました。また、野口製作所、中村製作所と林栄精器には設計・製作の過程でいろいろ参考になるコメントをしてもらいました。記して謝意を表します。

引用文献

- 江頭庸夫, 1965, 日記水管傾斜計, 京都大学防災研究所年報, **8**, 59-69.
 嶺 永治・田中和夫・村上栄寿, 1972, フロートを用いた水管傾斜計について, 東北地域災害科学研究 (昭和 46 年度), 97-103.
 東京大学地震研究所技術部, 1973, フロート型日記水管傾斜計の試作, 東京大学地震研究所速報, **16**, 1-8.
 加藤正明・津嶋吉男, 1973, 差動トランス型水管傾斜計の試作, 京都大学防災研究所年報, **16B**, 55-63.
 山内常生・山田 守, 1974, フロートを用いた自動水管傾斜計による傾斜変化の観測, 測地学会誌, **20**, 57-64.
 石井 紘・佐藤俊也・立花憲司, 1977a, 水管傾斜計の特性について (1)―静特性―, 測地学会誌, **23**, 88-98.
 石井 紘・佐藤俊也・立花憲司, 1977b, 水管傾斜計の特性について (2)―動特性―, 測地学会誌, **23**, 88-98.
 志知龍一・奥田 隆・吉岡茂雄, 1980, フロート変位型日記水管傾斜計の製作, 測地学会誌, **26**, 1-16.
 山内常生・山田 守, 1992, 容量変化による水管傾斜計, 測地学会誌, **38**, 1-6.
 佐藤忠弘・鶴田武逸・広田信平・坪川家恒, 1978, アームレスフロート方式水管傾斜計, 日本測地学会第 51 回講演会要旨, 62-63.
 LEI, N., D. WEIMIN and Y. ZHICHUN, 1985, High precision FSQ float water tube tiltmeter and its observation, Proceedings of China-United States Symposium on Crustal Deformation and Earthquakes, 254-263.

要 旨

従来用いられている水管傾斜計を改良して非常にシンプルな新しいタイプのフロート水管傾斜計を開発した。この水管傾斜計はフロートを支持するための板バネ、アームなどを使用していない。すなわち、フロートはメカニカルな拘束がないため構造も単純になり、計器の特性および感度検定を単純化するとともに調整の操作を容易にし、作業量を少なくした。また、全体的にネジの締め付け部分を無くし、板バネなどを使用しないため計器セット後のドリフトも非常に小さくなった。アームとバネを用いず、クリアランスを直接測定するセンサーを採用したため、フロートの変位は円弧変位から直接変位になるとともに、ダイナミックレンジも数倍拡大した。現在この計器は日本と中国において合計 5 箇所の観測点に設置されて安定した良好なデータを蓄積している。