

土木研究所資料

地すべり動態観測に関する検討

昭和62年3月

建設省土木研究所
砂防部地すべり研究室

Copyright © (1987) by P . W . R . I .

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P . W . R . I .

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

地すべり動態観測に関する検討

地すべり研究室室長 中 村 浩 之

” 研究員 石 黒 互

地すべりによる災害を未然に防ぐためには、その挙動を正確に把握し、発生兆候を早期に捕えなければならない。このためには地すべり動態観測を充実させる必要があるが、これを自動計測システムの面から捕え、センサーの自動化の方法、システムの構成等、地すべり動態観測システムのあり方について調査、検討したものである。

キーワード；地すべり動態観測，自動計測システム，センサー，光波測距儀，補正式

は じ め に

昭和57年奈良県西吉野村・和田地すべり，昭和60年新潟県青海町・玉の木地すべり，同年長野市・地附山地すべりと近年人命，資産に重大な影響を及ぼす地すべりが多発し，社会問題にさえなっている。宅地開発，道路・ダム建設等開発の頻度の極めて高くなった現在では，このような大災害を起こす危険性をはらんだ地すべりはまだ多く存在し，将来的に見ればこの数はますます増大していくものと考えられる。

このような地すべり全てに対してハードな対策が施されるということは，国内情勢から見て経済的にも時間的にも不可能なことである。これら地すべりによる災害を回避するには，土石流対策がそうであったように，現象を事前に捕まえ（土石流の場合は降雨），その発生を予測し，警戒避難，交通規制等ソフトな対応を施すことが極めて有効な手段となり得る。

ソフトな対応を拡充させる上でその基本となることは，地すべりの挙動を正確に把握し，その発生の兆候を捕まえるということで，地すべりの動態観測を充実させることはその意味で非常に重要である。ここでは，自動計測システムに主眼を置いて，地すべり動態観測のあり方について調査，検討した他，地すべり絶対移動量を把握する上で有効な手段と考えられる光波測距儀による距離計測について実験を行ない，この方法の最大の欠点と言われる気象による誤差に対する補正式の誘導を試み，検討したのでそれらについて報告する。

なお，亀ノ瀬地すべりをはじめ，今問題となりつつある観測体制のあり方および地表面絶対移動量把握の方法について調査した結果の本報告が，今後の地すべり観測に対して何かの参考になれば幸いである。

目 次

はじめに

1. 地すべり動態観測の現状と問題点	1
2. 地すべり動態観測用計器	3
2.1. 現在用いられている計測器	3
2.2 自動計測のためのセンサー	6
2.3 センサーと計測器	6
3. 地すべり動態観測システム	15
3.1 自動化の手法	15
3.1.1 半自動化の場合	15
3.1.2 全自動化の場合	16
3.2 自動計測システムの基本的構成	16
3.2.1 伝送部	16
3.2.1.1 構内伝送	20
3.2.1.2 構外伝送	20
3.2.2 計測処理部	21
3.2.2.1 計 測	21
3.2.2.2 データの保存	21
3.2.2.3 データの表示	22
3.2.2.4 管理値監視	22
3.2.2.5 通 信	22
3.2.2.6 ハードウェア	22
3.3 現場における計測システム	22
3.3.1 電源の問題	23
3.3.2 耐雷の問題	25
4. 光波測距儀による距離計測	26
4.1 実 験	26
4.1.1 実験概要	26
4.1.2 基礎実験	29

4.2 補正式	29
4.3 実験・解析結果	30
5. おわりに	43

1. 動態観測の現状と問題点

地すべり対策工は、種々の地すべり調査結果に基づき地すべりの規模、すべり面粘土の力学的強度特性、地下水の状況、地表及び地中の変動状況等を把握し、これらによって滑動の危険性を検討した上で、その配置計画、優先順位が決定されている。これら対策工の考察、検討のための資料として地すべり動態観測は、地質調査と並んで極めて重要であるとともに、地すべり地の維持管理、今後の滑動の予測等にとっては今後ますますその必要性は高まってくるものと考えられる。

一般に地すべりは種々の誘因により、極めて緩慢な土塊の動きに始まり（初期段階）次第にその動きが顕著になり（中期段階）、最後に破壊的な地すべりになるものが多い。このため、地すべり区域内にその変動を感知する計測器を設置しその動態を観測することによって、地すべり滑動状態を把握し、応急対策工、警戒および避難体制を実施することで、人的な被害や構造物等の破壊を防止することができる。

動態観測の対象となる地すべりは、自然発生型のもの、ダム湛水が原因によって起こるもの、道路や鉄道工事、宅地造成工事等人為的な切土、盛土等によって土塊のバランスを崩して発生するものなど種々のタイプがあり、これらタイプによって発生誘因、滑動特性の違いがあることから、計測器の種類や配置、計測期間等も異ってくる。

そもそも地すべり動態観測用計器としては、昭和31年に地盤傾斜計が初めて使用され、その後昭和34年には地盤伸縮計、同38年にはパイプ歪計と次々に新しい計測器が開発されてゆき、現在では計測の目的ごとに、主に次のような計測器、計測手法が用いられている。

- 地表面の変動量を測定するもの
伸縮計，地上測量
- 地表面の傾動を計測するもの
地盤傾斜計
- すべり面の位置を確認するもの
パイプ歪計，孔内傾斜計
- すべり面の変位量を計測するもの
孔内傾斜計，伸縮計（縦に使用）
- 地下水位，間隙水圧を測定するもの
地下水位計，間隙水圧計
- 構造物の変位や応力，土圧を測定するもの
荷重計，変位計，土圧計

これらの計測器は手動式のものが主であり、その計測方法も計測器設置場所まで人間が出向き、変動値の測定を行った後、データを持ち帰って解析を行なうことから、多大の労力と時間を要し、地すべり滑動の兆候を早期に捕まえることが困難である場合が多い。したがって、

警戒避難等の緊急体制整備には数多くの問題を残しているのが現状である。

このため、これらの問題点をできる限り解消できるような地すべり動態観測について、主に自動計測（計測器および計測システム）の面から調査、検討を行ったので、その結果をここに報告する。また地すべり地表面の絶対変位量把握のための計測方法として、光波距儀による距離計測試験を行い 気象による誤差の補正式の誘導を試みたのでそれについても併わせて報告する。

2. 地すべり動態観測用計測器

2-1 現在用いられている計測器

現在の技術水準では、地すべり変動発生以前の応力状態、土塊の強度等から地すべりの発生を予測する技術はなく、地表、地中の変位が計測器に現われてくるようになって初めて危険性の把握、滑落の予測が可能となる。しかし、現在用いられている計測器のほとんどは手動式のものであり、データの収集、解析に時間がかかることから、地すべりの兆候を迅速に把握することができない場合が多い。

現在地すべり動態観測で計測されている物理量としては次のような項目がある。

- (i) 地表面の変位
- (ii) 地中内部の変位（主にすべり面）
- (iii) 地下水位（および間隙水圧）
- (iv) 気象（主に降雨、融雪）
- (v) 構造物の変位

(i) は更に地表面の傾動変位と水平変位に分けられ、傾動変位測定には一般に水管式傾斜計が用いられており、その測定の感度は1秒である。また水平変位は一般に伸縮計が用いられており、測定器自体の感度は0.2 mm、インバー線の長さは温度変化、張力によるクリープ、たるみを考慮して20 m以下が一般である。

(ii) の地中内部変位（すべり面変位）を測定する方法としては、パイプ歪計と孔内傾斜計が一般的であるが、パイプ歪計は塩ビパイプに接着されていることから、絶対的な変位量としての把握は困難で、もっぱらすべり面の位置の確認に用いられている。孔内傾斜計は最近特に使用頻度が高くなってきており、判定基準等は明確になっていないが、測定の感度は5～10秒のものが一般的である。これはまた、すべり面の位置、すべり面の絶対変位量の両方が一度の計測で求められるという利点がある。

また最近、伸縮計を縦型に使用方法もよく用いられるが、すべり面さえ正確に判っていれば、すべり面の絶対変位量を直接、高精度で測定することができる。さらにこれをボーリング孔内に多層的に設置することによってすべり面位置を確認することもできる。

(iii) の地下水位は、フロート式、水圧式のものが一般で、通常1 cm程度の感度で10～30 mの範囲を範囲を測定できる。また被圧地下水がある場合は、間隙水圧計によってその間隙水圧を測定するのが一般である。

(iv) の構造物の変位の計測は、地すべりの観測としては一般的なものとは言えないが、地すべり防止施設や構造物の変形によって地すべりの動きが把握できる場合は、重要な計測となる。通常、これら構造物の傾動変位、水平変位、歪、応力（荷重）が測定の対象となり、傾斜計、変位計（伸縮計）、歪計、荷重計、土圧計等によって計測する。その際の測定精度は、地すべり土塊を測定する精度程度あるいは、構造物の許容変位量を考慮して、その測定精度を落とし、測

定範囲を広くして計測する。

(v)の気象の計測については、地すべり発生予知としては降雨量、降雪および融雪量が必要であるが、主に降雨量が計測されている場合が多い。

これら計測器の種類、感度、測定範囲等を表2-1に示すが、これらは手動式のもので、計測の効率化のためには可能なものは自動計測とすることが好ましい。

表2-1 地すべり調査で、一般に実施されている計測項目（主に手動）

計測項目	計測機器	感 度	測 定 範 囲	一般に用いられている機器
地盤傾斜変動	地盤傾斜計	1 秒	(±1度)	水管式傾斜計
地盤伸縮変動	地盤伸縮計	0.2 mm	(±10cm)	地すべり計, 変位計
すべり面位置	パイプ歪計	10 μ	±10,000 μ	パイプ歪計
すべり面位置	孔内傾斜計	5 ~10秒	±5 ~±30度	挿入型傾斜計
構造物の傾動	構造物傾斜計	1秒~10秒	±1度~30度	水管式傾斜計, 傾斜計
構造物の変位	構造物変位計	0.01 mm	±5 mm~±50cm	変位計, ダイアルゲージ
土 圧 計	構造物の応力			土圧計
地 下 水 位	地下水位計	1 cm	30 m	リシャル式水位計, 水圧式水位計
間 隙 水 圧	間隙水圧計	0.005 kg/cm ²	1 ~10kg/cm ²	間隙水圧計
降 雨 量	雨 量 計	0.5 mm	—	雨量計

また地すべり発生予測に利用されている計測器の内、地盤傾斜計、伸縮計、パイプ歪計については、日本道路協会「道路土工—のり面工・斜面安定工指針」では地すべり変動の定量的評価を行っている。表2-2, 2-3, 2-4。

表2-2 傾斜変動の程度

変動種別	日平均 変動量 (秒)	累 積 変動値 (秒/月)	傾斜量の 累積傾向の 有 無	傾斜運動 方向と地形 との相関性	活 動 性 等
変動 A	5秒以上	100秒以上	顕 著	あ り	活発に運動中
変動 B	1~5秒	30~100秒	やや顕著	あ り	緩慢に運動中
変動 C	1秒以下	30秒以下	ややあり	あ り	継続観測が必要
変動 D	3秒以上	な し (断続変動)	ややあり	な し	局所的な地盤変動, その他

表 2 - 3 伸縮計による地盤伸縮の程度

変動種別	日 変 位 量 (mm)	累積変位量 (mm/月)	一定方向へ の累積傾向	変 動 形 態 引 張 り 圧 縮 断 続	活 動 性 等
変 動 A	1 mm 以上	10 mm 以上	顕 著	引 張 り	活発に運動中, 表層・深層すべり
変 動 B	0.1 ~ 1 mm	2 ~ 10 mm	やや 顕 著	引張り, および 断 続 変 動	緩慢に運動中, 粘質土・崩積土 地 す べ り
変 動 C	0.02 ~ 0.1 mm	0.5 ~ 2 mm	やや あり	引張り, および 圧 縮	継続観測が必要
変 動 D	0.1 mm 以上	な し (断続変動)	な し	規則性なし	局所的な地盤変 動, そ の 他

表 2 - 4 ひずみ変動の程度

変動種別	累 積 変 動 値 (μ /月)	変 動 形 態		すべり面存在 の地形・地質 的可能性	活 動 性 等
		累積傾向	変動状態		
変 動 A	5,000 μ 以上	顕 著	累積変動	あ り	顕著に活動してい る岩盤～崩積土地 すべり
変 動 B	1,000 μ 以上	やや顕著	累積変動	あ り	緩慢に活動してい る地すべり
変 動 C	100 μ 以上	ややあり	累 積 断 続 か く 乱 回 帰	あ り	すべり面の存在有無 を断定できないため, 継続観測が必要
変 動 D	1,000 μ 以上 (短期間)	な し	断 続 か く 乱 回 帰	な し	す べ り 面 な し 地すべり以外の要因

2.2 自動計測のためのセンサー

土木計測機器用のセンサーはその作動原理の違いにより、差動トランス型、ポテンショメータ型、歪ゲージ型、カールソン型の4種の型式が一般的である。

差動トランス型は、2組の二次コイルを設け、これに誘起される起電力の差が中間の鉄片の位置によって変化することを利用して変位を測定するもので、出力電圧としては数Vオーダーである。この短所としては、センサーが他の型のものより大きく、温度による補正が困難であることである。

ポテンショメータ型のセンサーは可変抵抗器を利用して、変位を電気抵抗の変化により電圧として取り出すもので、大変位の測定には適するが、微小変位の測定ができないという短所がある。

歪ゲージ型のセンサーは、 $\phi 0.03\text{mm}$ 程度の抵抗線の長さが変化したときに生ずる電気抵抗を利用して歪を測定するもので、通常ホイートストンブリッジを構成して抵抗変化を測定している。この型のセンサーは小型軽量のものができ、温度補正の必要がない等の利点があるが、測定器に精度の高いものが必要であり、ゲージの接着方法により精度、寿命等が支配され、mVオーダーと出力電圧が低いためノイズの影響を受けやすいという短所がある。

カールソン型のセンサーは、外力を受けると差動的に伸縮する $\phi 0.05\text{mm}$ のピアノ線を一定の張力で張っており、外力による伸縮変化で生じる抵抗比の変化をホイートストンブリッジにより測定するもので、非接着型のストレインゲージである。これは小型、軽量のものができ温度補正が容易である反面、測定器に精度の高いものが必要で、衝撃に弱いという短所がある。

これらセンサーの作動原理、特長、短所を比較したものを表2-5、2-6に示す。

2.3 センサーと計測器

地すべり動態観測を自動化する場合、従来の手動のセンサー部分を、出力形式が電氣的である上記のセンサーに換えることになるが、計測器の特徴や特性、測定範囲等を考慮した上で、その組合せが決定されなければならない。さらに自動計測の場合は無人化を想定しなければならないことから、計測器もセンサーも単純且つ堅牢で維持管理も容易であることが望ましい。以下に地すべり観測で現在よく用いられているセンサーと計測器との主なものについて検討してみる。

(1) 伸縮計

インバー線の伸びや縮みを電気信号で出力するという点から、可変抵抗器（つまりポテンショメーター）と組合せるのが最も適しており、現在用いられているほとんどがこれである。

(2) 地盤傾斜計

センサー型式が歪ゲージタイプのものと差動トランスタイプのものが適している。さらに受感方法により、鉛直振り子式、水平振り子式、転倒振り子式があるが、安全性、構造

表 2 - 5

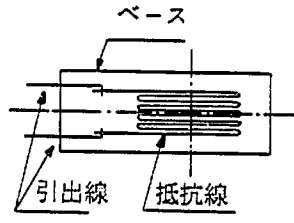
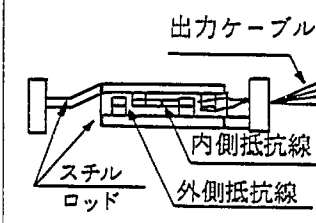
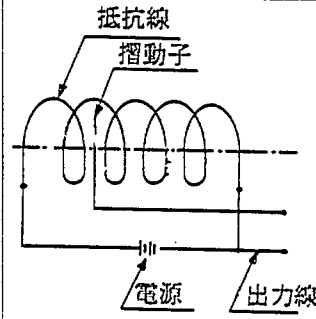
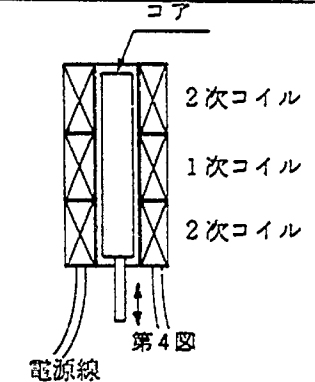
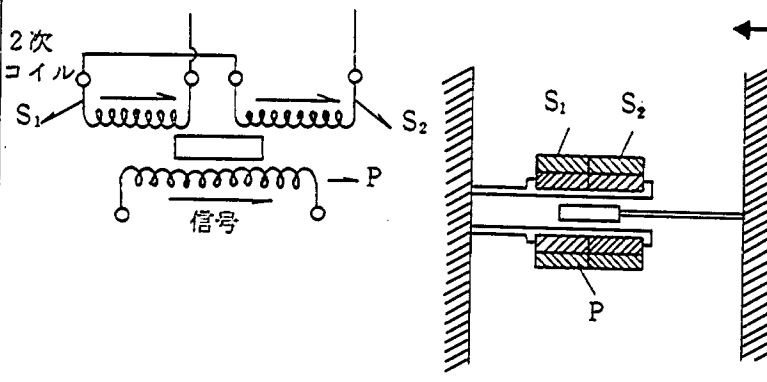
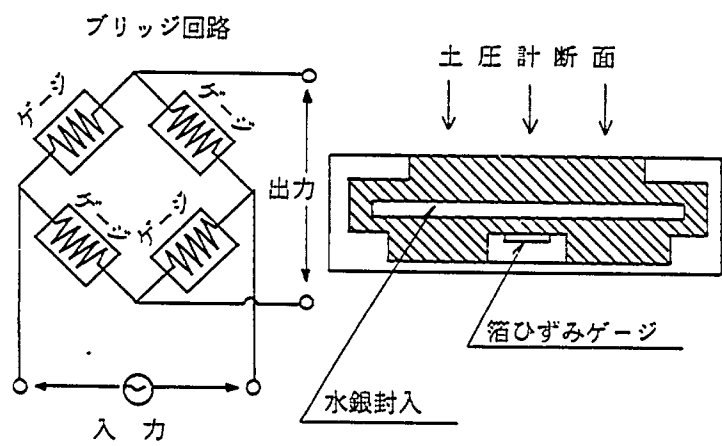
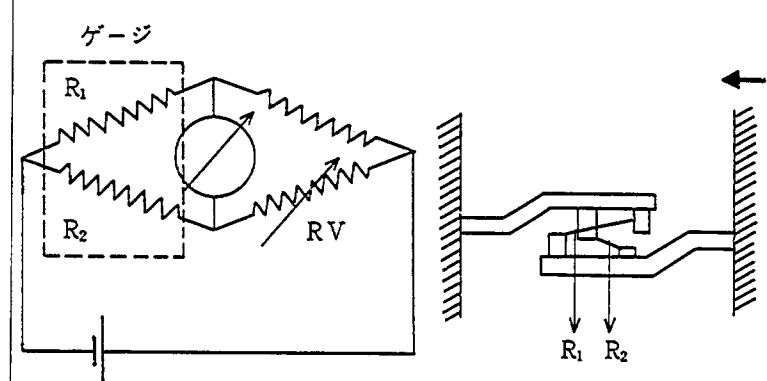
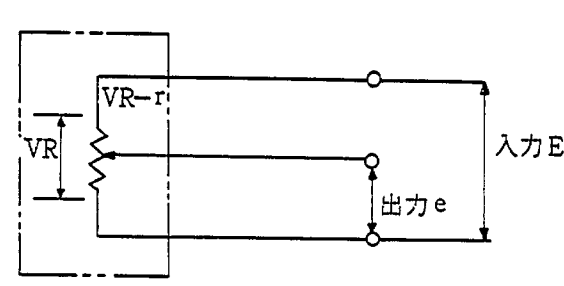
比較項目	説 明	ひずみゲージ型検出器	カールソン型検出器	ポテンショメータ型検出器	差動トランス型検出器
1. 原 理		外力による変位を電気抵抗の変化として取出す	左と同じ	左と同じ	外力による変位を電圧の変化として取出す
2. 変換部の構造		 第 1 図	 第 2 図	 第 3 図	 第 4 図
3. 形 状	差動トランスおよびポテンショメータは測定範囲により長さおよび重さが異なる	シート状 約10mm×8mm×0.2mm	円筒状 φ20mm×100mm	円筒状 約φ25mm×150mm	円筒状 約φ20mm×20～150mm
4. 重 さ		約 0.1 grw	約 100 grw	約 200～500 grw	約 100 grw
5. 変位計としての測定範囲	すべての物理現象は変位に変換されるので、重要なファクタである	±0.001～0.1mm程度	±0.1mm	±1～±300mm位まで	±0.1～±50mm位まで
6. 出力電圧(抵抗)	大きい方が処理が容易	小	小	大	大
7. 被測定物に与える影響	被測定物に反力を与えない方がよい	小さい	大きい	中程度 (約 100 grf 位)	無接触なので影響を与えない
8. 精 度	直線性、温度によるドリフト含む	貼り方の優劣に支配される	フルスケールの±1.5%以内	フルスケールの±0.5%以内	フルスケールの±1.5%以内
9. くり返し使用に対する特性	動測定の適否に関係する	やや弱い (接着剤の疲労)	やや弱い (固定部分の疲労)	やや弱い (抵抗線-摺動子の麻耗)	強い (無接触)
10. 対 衝 撃		質量が小さいので弱い	弱い	中程度	中程度
11. 使用温度範囲		接着剤に支配される -10～70℃位 (通常のもの)	-30～100℃程度	-25～120℃程度	-10～50℃程度 (DC形)
12. 耐 温 性		出力が小さいので弱い	中程度	弱い	中程度
13. 測 温 機 能		なし (オプションで可)	あり	なし (オプションで可)	なし (オプションで可)
14. 経 時 変 位		接着剤により支配される	安定	安定	中程度
15. 外部磁界による影響	雑音に対する抵抗力	受けやすい	中程度	強い	中程度
16. 落雷の影響		受けやすい	やや受けやすい	割合強い	やや受けやすい
17. ケーブル心線数		4心 (測温 は 5心)	5心又は4心	4心 (測温付は5心)	4心又は6心 (測温付は5心)
18. 価 格		低	中	中	高
19. どのような検出に適するか		土圧計 木圧計 荷重計 鉄筋応力計 広角傾斜計 (±1°～5°位まで)	ひずみ計 水圧計 土圧計 鉄筋圧力計	変位計 (±10mm～±数mまで)	高感度傾斜計 変位計 (±1～±25mm位まで) 連通管式沈下計 水位計 低圧力計
20. 使用上の注意		出力が小さいので、ノイズに注意		微小変位 (1mm未満) の測定には不向き 大変位、温度条件の悪い所には適	大変位の測定には不向き 交流用はケーブル延長は良くない 直流用は雷害に注意

表 2 - 6 計測機器センサーのタイプ別比較表

	動作原理	特長	短所
差動トランス型	中空巻きわくに巻かれた3組のコイル中で一つに信号電源より制御された交流電圧を加えておき、鉄心を移動すると他の2組のコイルに発生する電圧は、鉄心の移動量に対し、相対的に変化する。このコイル接続を、比較差電圧を取り出す様にしてあるので、鉄心の移動に対して安定で、有効出力の大きい電圧変換器となる。 	・構造が簡単で堅ろうである。 ・過荷重に強い。 ・変化の激しい測定ができる。 ・出力電圧が大きい。 ・自動記録・デジタル化が容易 ヒステリシス 0.5% FS 非直線性 0.5% FS 温度特性 ±0.5%以内/10℃	・センサーが大きくなる。 ・温度補正が難
歪ゲージ型	ひずみゲージで構成されたホイートストンブリッジでの抵抗変化を電圧に変換して測定する。 	・小型軽量のものができる。 ・温度補正の必要がない。 ・微小変位の測定に適す。 ・自動記録・デジタル化容易 ヒステリシス 0.5% FS 非直線性 0.5% FS	・測定器に精度の高いものが必要 ・出力電圧が低い。 ・過荷重に弱い。 ・電に弱い(各メーカーで避雷方法が検討されており、現在は、ほぼ解決されたと考えられる。)
カーボン型	φ 0.05 mmのピアノ鋼線を磁器製わくに弾性範囲の半分位の初期張力を与えて巻いてあり、わくに加えられる物理変化は、ゲージ本体の応力変化となるので、この非接着型ストレンゲージのわずかな抵抗変化を測定して物理量を知る 	・小型軽量のものができる。 ・微小変位の測定に適す。 ・測温機能を有し、温度補正が容易 ヒステリシス 1% FS 非直線性 1.5~2.0% FS	・測定器に精度の高いものが必要 ・出力電圧が低い。 ・ケーブルの延長に難がある。 ・過荷重に弱い。 ・自動記録・デジタル化には、演算回路が必要
ポテンシオメータ型	摺動抵抗型とも呼ぶ。可変抵抗器を利用して変位を電気抵抗の変化により電圧として取り出す 	・大変位測定に適す。 ヒステリシス 1.0~0.5% FS 非直線性 0.5% FS	・微小変位測定は不可

の単純さ、堅牢さから、鉛直振り子式のものが最も一般的である。

(3) 孔内傾斜計

従来の挿入式の孔内傾斜計は、自動化が不可能なわけではないが、1孔ごとに測竿の巻上げ機を設置する必要がある、現実的には困難に近い。

そこで孔内に常時設置型のものが多く用いられるようになってきている。孔内傾斜計の原理は、パイプの傾斜を測定することから、地盤傾斜計と同様で、歪ゲージタイプと差動トランスタイプのもものが適している。設置に際しては、あらかじめパイプ歪計等によってすべり面の位置を確認しておき、最小限の個数で効果的な情報が得られるように計画しておくことが望ましい。

(4) 地下水位計

フロートを用いる場合は、伸縮計と全く同じ原理でポテンショメータが適しており、水圧で測定する場合は、半導体圧ゲージが適している。水圧式の場合は、大気圧の変化によってその値も変化することから、気圧測定を併用して行ない、値を補正することが必要である。

(5) 間隙水圧計

水圧式の水圧計と同様に半導体圧力ゲージ式のもものが適しているが、閉じ込められた場所に設置することから、すべり面や地質構造等を事前に十分に調査した上で、実際どの程度の揚圧力や間隙水圧が作用しているかを検討し、設置することが望ましい。

現在用いられているものおよび開発中の計測器とセンサーとの組合せは多種多様であるが、それを表2-7にまとめて示す。

表 2 - 7 計測器とセンサー

名称	計 器	センサー部名称	性 能		
			測 定 範 囲	精 度	
地盤傾斜計	A - 1	差動トランス	± 100 ・ 250 ・ 500 秒	0.5 %	水管式傾斜計とほぼ同じ精度を持ち、地盤傾斜計として使用可能 但し、地すべり計測の実績はなく比較検証必要
伸縮計	B - 1	ポテンショメータ	0.2 ～ 20mm ～ 200 mm	1 %	自動計測とすることは可能であるが、インバー線の張力を重錘バネで加えている型式であるため、インバー線の長さに応じて張力を調整する必要がある。
	B - 2	ポテンショメータ	500 ・ 1000 ・ 2000 mm	0.5 %	
	B - 3	ポテンショメータ	50 mm	0.5 %	
パイプ歪計	C - 1	歪 ゲ ー ジ	± 10,000 μ	0.5 %	現在のパイプ歪計は母材に塩ビパイプを使用しており寿命の短さと変位量の値に問題があった。塩ビパイプに換えて、アルミパイプや薄肉鋼管を母材としゲージ貼付方法を加熱圧着法とすること コードを高耐水性の被覆材とすることにより長寿命化が図れ自動計測システムに組み込み可能である。
挿入型傾斜計	D - 1	サ ー ボ アクセロメータ	±30度	0.01 mm/cm	挿入型傾斜計は測定位置をセットする方法が自動化されておらず在来方式で計測する場合は半自動計測とせざるを得ない。完全自動計測とする場合は、設置型とする必要があるが、極めて高価である。 自動化計測とする場合は、パイプ歪計と組合わせて、重要地点のみ固定式とする方法が最も経済的でまた効果的である。
	D - 2	差動トランス	± 5 ・ 10度	0.5 %	
	D - 3	歪 ゲ ー ジ	± 5 ・ 10度	0.5 %	
	D - 4	歪 ゲ ー ジ	± 5 ・ 10度	0.5 %	
	D - 5	差動トランス	± 5 度	18 秒	
水位計	E - 1	半 導 体 圧 力 ゲ ー ジ	10 ・ 20 ・ 50kg/cm ²	0.1 %	間隙水圧計を水位計として用いる場合、大気圧の変化で、通常±10cm、最大±30cmの誤差を生じる。 水圧式水位計、間隙水圧計とも、水位変動幅を考慮して適当な測定範囲となるものを選定すれば、誤差を少なく出来るので、そのような配慮が必要である。
	E - 2		1 ・ 2 ・ 5 ・ 10kg/cm ²	0.2 %	
間隙水圧計	F - 1	カールソン	2 ・ 4 ……14 ・ 16kg/cm ²	0.01 %	
	F - 2	歪 ゲ ー ジ	2 ～ 20kg/cm ²	0.5 %	
	F - 3	差動トランス	2 20kg/cm ²	0.2 %	
	F - 4	歪 ゲ ー ジ	2 ・ 5 ・ 10 ・ 20kg/cm ²	1.0 %	
	F - 5	歪 ゲ ー ジ	2 ・ 5 ・ 10 ・ 20kg/cm ²	0.5 %	
	F - 6	差動トランス	1 ・ 2 ・ 5 ・ 8 ・ 10kg/cm ²	0.5 %	
設置型傾斜計	G - 1	差動トランス	±50分	0.5 %	構造物の傾斜変動を測定するもので、自動計測とすることは可能である。構造物の許容変位量、通常変位量等を考慮して適当な測定範囲の計測器を選択する必要がある。
			± 100 分		
			± 300 分		
	G - 2	歪 ゲ ー ジ	± 1 ・ 2 ・ 5 度	0.5 %	
		カールソン	± 3 × 10 ⁻⁸ radian (約10分) 8 秒		
	G - 4	差動トランス	±15 ・ 30 ・ 60 ・ 120 分	0.25 %	
			±40度 ・ 10度	1.0 %	
G - 5	歪 ゲ ー ジ	± 4 ・ 8 ・ 16分	3.3 %		
		±40 ・ 80 ・ 120 分	3.3 %		
		± 1 ・ 2 ・ 5 度			
		± 0.5 ・ 1 ・ 2 度			
変位計	H - 1	歪 ゲ ー ジ	5 ・ 10 ・ 20 ・ 50mm	0.15 %	構造物の変位測定するもので、自動計測とすることは可能である構造物の許容変位量、通常変位量等を考慮して適当な測定範囲の計測器を選択する必要がある。
			5 ・ 10 ・ 25 ・ 50 ・ 100 mm		
			50 ・ 100 mm		
	H - 2	歪 ゲ ー ジ	5 ・ 10 ・ 20 ・ 50mm	1.5 %	
			5 ・ 100 ・ 200 mm	2.0 %	
			50 ・ 100 %	0.5 %	
			5 mm	2.0 %	
雨量計	I - 1	転倒ます型	1 mm / 1パルス		
	I - 2		0.5 mm / 1パルス又は 1 mm / 1パルス		
	I - 3		0.5 mm / 1パルス		

3. 地すべり動態観測システム

地すべり動態観測システムに自動化を導入することで、主として次のような効果が期待される。

- (1) 高密度な計測と大巾な省力化を図ることができる。
- (2) 地すべりの挙動を早期に検知し、工事や地域住民の安全確保を図ることができる。
- (3) 計測値を収集、蓄積し、地すべり対策工の妥当性の評価、効果判定、地すべり発生予知の高度化を図ることができる。

もちろん、システムの機能の便利さを追求すればするほど高級な機能となり、全体のコストもかなり高くはなるが、従来の手動式の観測では至底得られない効果が期待され、国土の開発が今後ますます進展して行き、地すべり災害が社会問題化していくであろうと考えれば、この自動計測システムの導入の必要性は今後ますます高まっていくものと考えられる。

3.1 自動化の手法

一般に地すべりの観測を自動化する場合には、フロッピーディスクや磁気テープを媒体として計測結果を自動記録し、全く別のシステムで解析、図化する半自動化の場合と全てを有線、無線でオンライン化する全自動の場合とが考えられる。

3.1.1 半自動化の場合

半自動化のシステムは、全自動システムが技術的に困難というのではなく、計測の頻度や管理のタイミング、地すべりの安定度等から常にデータ解析・処理をする必要がなく、全自動システムにする必要がない場合あるいは地すべりが広すぎたり、商用電力の供給が現実的でない場合等に適している。

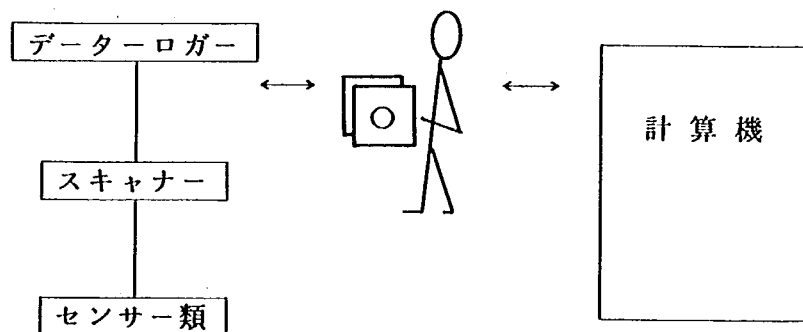


図 3.1.1 半自動システム

その手法としては、アナログ式記録器を用いる場合とデジタル式記録器を用いる場合とデジタル式記録器を用いる場合とがあるが、いずれの場合も、計測器は自動観測用のもので、測定やデータ処理にかかる省力化が大巾に期待できる。

3.1.2 全自動の場合

全自動システムは、ほとんど全ての計測器をオンラインで計算機と結合したシステムである。つまり、各センサーは信号ケーブルでスキャナーに連結され、スキャナーは信号ケーブルと制御ケーブルでデータロガーに連結される。さらにデータロガーはインターフェイスを用いて通信ケーブルで計算機と連結されるわけである。

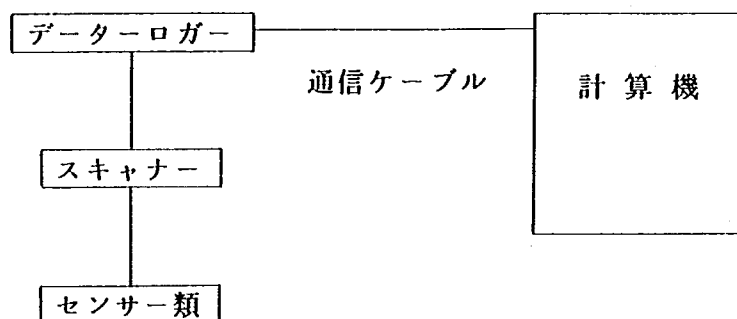


図 3.1.2 全自動システム

このように全自動の場合は、計測器から計算機までがオンライン化されることにより、地すべりの挙動を常時連続的に監視し、一定の管理基準値と比較照合し、地すべり発生の危険が予知されると警報を発するなど、リアルタイムの管理が要求されるときには極めて効果的である。

従ってこの場合、半自動に比較してやや柔軟性に欠け、コストが著しく高くなるという欠点はあるが、途中において人間系を介さずに実行することができるため、緊急時にも地すべりの移動状況の認識が容易であること、遠隔操作が可能であること等のメリットがあり、測定数が多いほど、観測期間が長くなればなるほどそのコストも割安になる。

3.2 自動計測システムの基本的構成

自動計測システムは大別して、センサー部、伝送部、計測処理部の3つの部分に分割して考えることができる。センサー部については2.3でも述べているので、ここでは、伝送部、計測処理部について検討した結果を述べる。

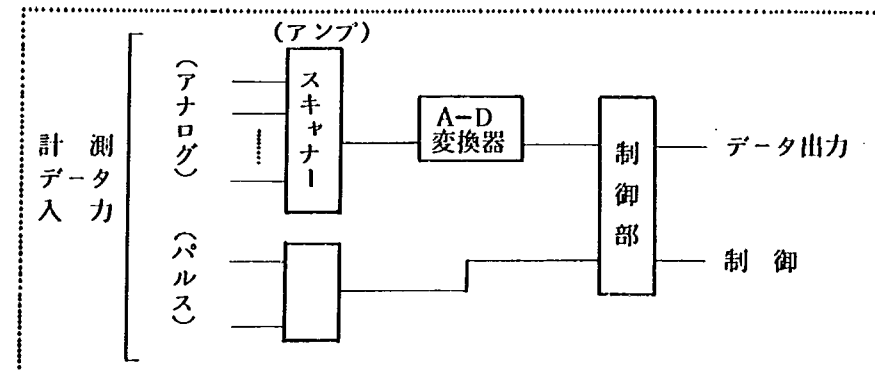
3.2.1 伝送部

伝送部は、地すべり自動観測システムのうち、主としてデータ等の通信にかかわる部分

図 3.1.3 基本システム構成の比較

方 式		現場端末 (子局)	センター (親 局)	特 徴
A	完全自動化	現場 現場事務所 (観測小屋)	事務所 (センター)	
		計測器 → 信号処理部 → 制御部 → 回線制御	回線制御 → データ処理用コンピュータ → CRT, キーボード, グラフィックターミナル, プリンタ, プロット, デジタイザー	○ センターで、実時間観測ができる。 ○ 複数現場の集中・同時管理が可 ○ 現場省力化, 無人化が可 ○ 供給時に適する ● 測定器 (特に地中変位傾斜計) 費用大
			ハードディスク, フロッピーディスク	
B	半自動化 (通信回線使用)	現場 現場事務所 (観測小屋)	事務所 (センター)	
		計測器 → 信号処理部 → 制御部 → 回線制御	(通信回線) 回線制御 → データ処理用コンピュータ → CRT, キーボード, グラフィックターミナル, プリンタ, プロット, デジタイザー	○ 現場での観測, 解析ができる ○ 測定器費用はAに比べて少なくできる ○ 工事段階に適する ● 現場に入手が必要
		データ収録器, 計測器, 手動入力 → 現場用コンピュータ	フロッピーディスクなど	
		CRT, キーボード		
C	半自動化 (人による運搬)	現場 現場事務所 (観測小屋)	事務所 (センター)	
		計測器 → 信号処理部 → 制御部 → 現場用コンピュータ	データ処理用コンピュータ → CRT, キーボード, グラフィックターミナル, プリンタ, プロット, デジタイザー	○ システム価格低い (現場のみのシステム化) ● 解析等に制約がある (現場用コンピュータのみ) ● 実時間対応しにくい ● 複数現場の集中化不可 ● 人手を要する
		データ収録器, 計測器, 手動入力 → 現場用コンピュータ	(人による運搬)	
D	手動式 (従来方法)	現場 現場事務所 (観測小屋)	事務所 (センター)	
		計測器 → 手動計測 → 人計算解析 → 人判断		○ 低価格 ● 実時間対応できない ● 人手を多大に要する (計測, 計算, 解析) ● 信頼度低い

注1) データロガー
計測データ収集装置で、
普通左図のような構成の
ものが多い。



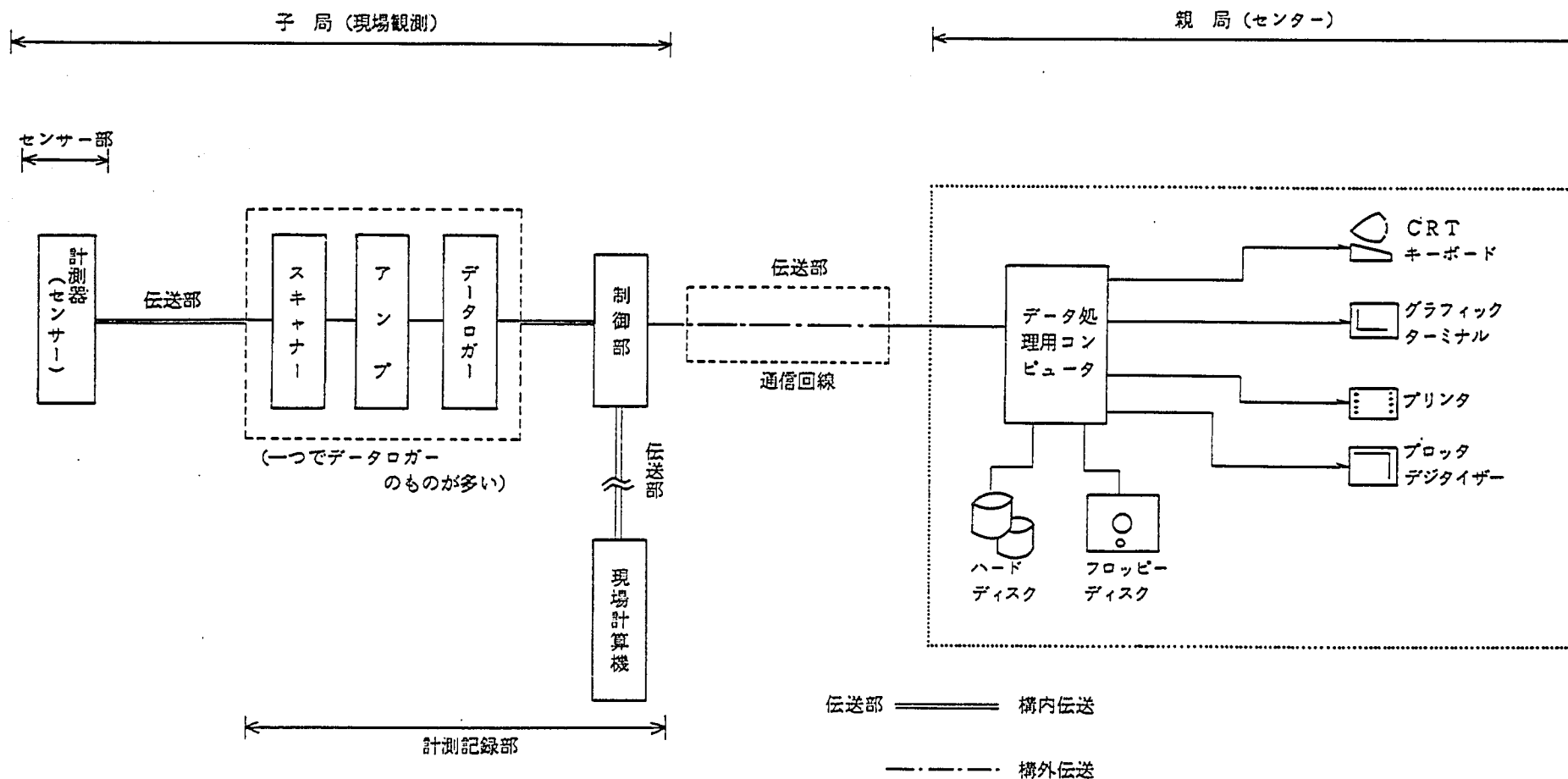


図 3.2.1 システム機能構成

であり、これは例えて言えばシステムのアキレス腱に相当するもので、ケーブル切断や落雷に対して十分に対策を講じていなければならない。これはまた大別すると構内伝送と構外伝送とに分けられ、構内伝送はさらに、センサー～データロガー間、データロガー～計算機間に分けられる。

3.2.1.1 構内伝送

一般に構内伝送とは、地すべり地のセンサー（計測器）から現地に置かれた観測小屋（計算機）までのデータの伝送のことを言う。構内伝送では、ケーブルのルート選定に当って、地すべりの状況、種々の構造物の配置を考えて、最も適切なルートを選定することが重要である。

(1) センサー～データロガー

この間は信号ケーブル（センサーケーブル）を敷設するのが妥当である。通常、信号ケーブルは、センサーが差動トランスの場合には5芯のケーブルを、歪ゲージ、ポテンショメーター、カールソン型の場合には4芯のケーブルを使用する。その際1チャンネルには1本のケーブルとした方がよい。

一般に、センサーからスキャナーまでのケーブル長は、ポテンショメーターの場合約1200～1500 m、差動トランスの場合は600～700 m、歪ゲージ、カールソン型の場合は500 m程度が限度である。もちろん、ケーブルの断面積を大きくし、抵抗を小さくしたりの工夫をすればそれ以上の長さにすることも可能である。

また、ケーブルの敷設方法は、切断等の問題を考えれば埋設する方法が最も良く、保護管あるいは既設の側溝等を利用して、外力からの保護を考えなければならない。

(2) データロガー～計算機間

データロガーでチャンネル数の関係や信号ケーブルの関係で、スキャナーとデータロガーの間が離れている場合には、信号ケーブルと制御ケーブルが必要となる。このとき、信号ケーブルは5芯、制御ケーブルは14芯のものが適している。

また、データロガー～計算機間は通信ケーブルが必要で、4芯のものが最も適している。

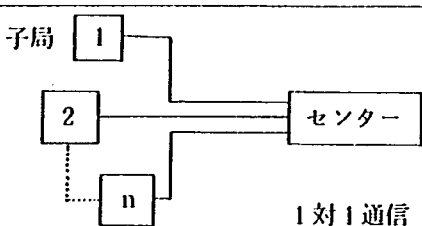
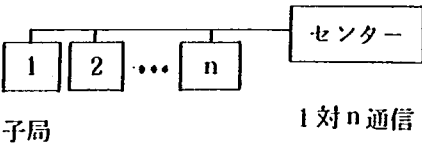
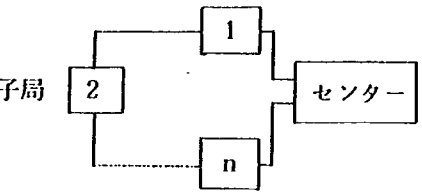
3.2.1.2 構外伝送

構外伝送は、地すべり地の他にセンターを置き、センターで集中管理する場合に必要である。すなわち、各地すべり地あるいは地すべり地内の観測小屋（子局）が、センター（親局）の管理下に置かれ、両者の間でデータや指令等の送受が行なわれるものである。

主に子局からは計測データが親局へ送られ、親局からは指令等が必要に応じて子局へ送られる。このとき親局をメインに複数の子局との間でネットワークが構成されるが、

これには表 3 - 2 - 1 に示されるような方式が考えられる。

表 3 - 2 - 1 通信回線網方式一覧

方式	構成	特徴
スター	 1対1通信	・子局，回線の障害が他に影響ない ・子局増加に対応してセンターハードウェア構成も増す。 ・回線利用効率は高くない ・子局増設容易
マルチドロップ	 1対n通信	・回線利用効率高い ・子局増加でもセンター構成は増さない ・子局増加だと持ち時間長くなる ・子局，回線の障害が複数局に影響を与える。
ループ	 子局	・子局，回線の障害が全体に影響を与える。

3.2.2 計測処理部

計測処理部とは，本来データロガーと計算機のこと，システムにおいては中枢部となるものである。この中では特にその機能が重要であり，ここでは主として地すべりの自動システムとして最低限必要と考えられる機能について述べる。

地すべり自動計測システムに必要な機能としては，計測，計測結果の保存，データの表示，管理値監視等である。

3.2.2.1 計 測

システムは，計算機に内蔵された時計によって，適切なる間隔で諸変動量を計測しなければならない。計測間隔は通常1時間や12時間，24時間で可と考えられるが，緊急時には5～10分程度の密な計測が必要になることが予想される。従って，場合に応じて計測間隔を選択できるようなシステムが望ましい。

3.2.2.2 データの保存

システムは，観測データを保存，蓄積したり，フロッピーや磁気テープ等の媒体に移

し換えたりする事ができなければならない。特にこれらの膨大なデータを蓄積できる容量を備えていることが望ましい。

3.2.2.3 データの保存

システムは、計測結果を工学単位に変換した後に、CRT 画像、プリンター、プロッターに表示、印字できることが必要である。特に、観測値の時系列表示、例えば時間と移動量、降雨と移動量等複数の事象を組合わせて作図できるような機能を持ち合わせていることが望ましい。

3.2.2.4 管理値監視

管理値監視機能は、計測された結果が管理値を超えた場合に、責任者に注意を喚起することを目的として警報等を出力する機能であるが、これは意志決定をするものではなく、意志決定支援システムとしてのものである。従って、あくまで注意を喚起するためのものであり、その結果を見て最終的には人間が判断を下すことになる。

特に、交通規制や警戒避難を行わなければならないような地すべりではこれが重要である。

3.2.2.5 通 信

地すべりが無人化されることを考慮すると、親局からの遠隔操作をする必要があるため、通信の機能も必要である。通信の内容は、定期的な観測結果の送受信、観測間隔の変更や観測結果の送信時刻の間隔の変更等の指令・命令である。更に、管理値監視機能が作動した場合には、子局から親局に自動的に送受信できることも必要である。従って、システムは親局と子局との相互通信が可能であることが望ましい。

3.2.2.6 ハードウェア

システムは24時間常時稼動し、緊急時には計測を行ないつつ、管理値監視機能も作動し、観測結果の図化、通信も行なう等平行して複数の作業を行なうことが必要とされる。このような場合には、シングルタスクの計算機では対応が困難となる場合も考えられることから、マルチタスク処理が可能な計算機が理想である。

3.3 現場における計測システム

実際現場に自動計測システムを適用しようとした場合、既に述べたように完全自動化することが可能であり、以下現場において完全自動化計測をするものとして検討する。

自動計測とする場合、変化量をセンサーで取り出すとして、その信号は電氣的な信号とする必要があり、この場合の現場計測システムの基本的な構成は図 3.3.1 に示すようなフローとし

て考えられる。またセンサーから親局までの計測データの流としては、図 3.3.2 のようになる。

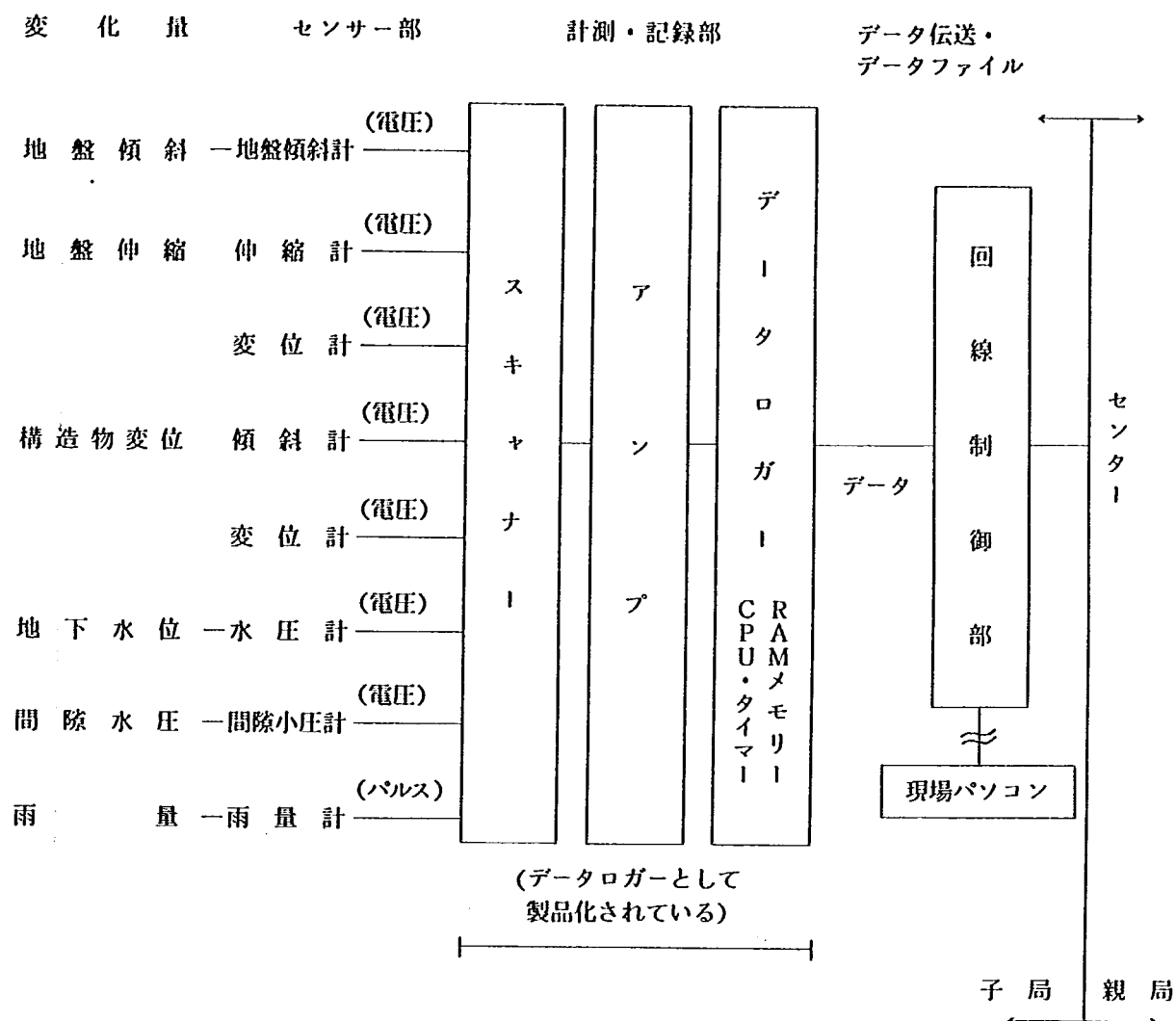
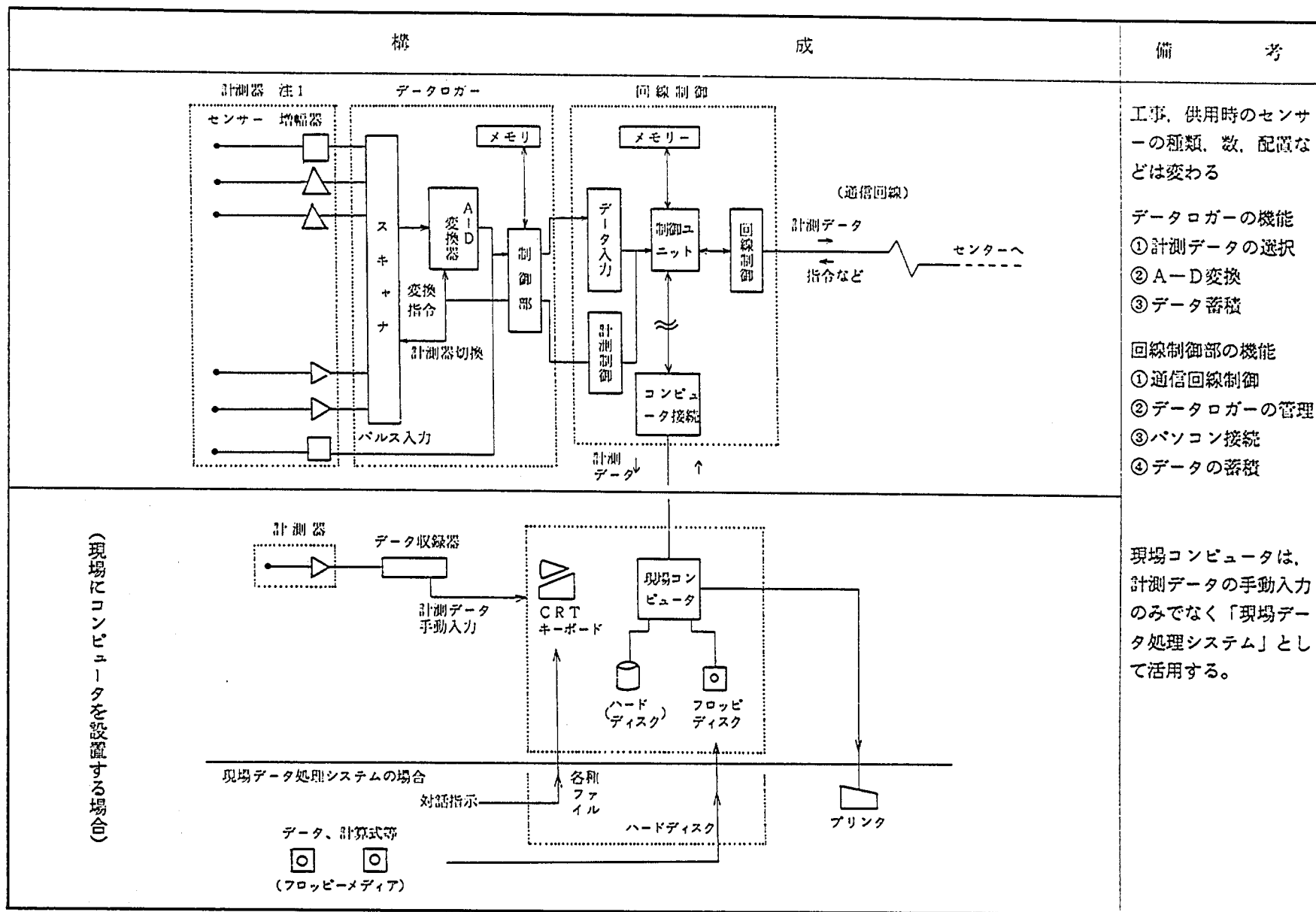


図 3.3.1 現場計測システムの基本フロー

ところで現場自動計測において大きく問題となるのは、その電源と雷に対しての対策であり、これをないがしろにしては、どんなに高価なシステムを計画したところで実用に供しないと言っても過言ではない。従ってこの問題に関しては、事前に十分に検討をしておかなければならない。

3.3.1 電源の問題

電源はデータロガーに必要である。従って、商用電力が供給されている場所にデータロ



注1) 計測器には、センサ・増幅器一体型およびセンサ単体型の2種類がある。

図 3. 3. 2 現場計測システムの構成とデータの流れ

ガーを設置する場合には問題はないが、そうでない場合には電源を供給地から引込むために電源ケーブルを敷設する必要がある。この場合、データロガーと電源ケーブルの接続部には、ノンヒューズブレーカー、漏電ブレーカー、高圧用絶縁トランスが必要であり、電圧が安定していない場合等には、ノイズカットトランスを設置することが望ましい。

更に、停電を考慮してバックアップ電源を備えておくことが不可欠である。これはできるだけ容量の大きなものにしておく必要がある。

3.3.2 耐雷の問題

地すべり自動計測システムは、ICを利用した高性能な機器により構成されており、雷の影響により破壊され易いという問題点がある。そして自動計測の失敗の実例の大半がこれによるものであるのが現状である。

直雷を受けた場合は処置なしとしても、誘雷に対しては、できるだけ対策を行って、これによる破壊は防止しなければならない。誘雷サージ（電圧インパルス）は、対接地電圧として通常数千ボルトにも達し、これによってケーブルの線間に生じた高電圧が、ケーブルを伝ってその端子にある半導体部を破壊したり、アーク放電によって電子回路の絶縁部が破壊し、電子機器が破壊されたりするのが一般である。

このように雷サージは、アンテナ効果となるケーブル及び引込電源に強力な電流インパルスの形で侵入するので、次のような対策を講じる必要がある。

- ①商用電源に避雷装置を必ず設置する。この場合、各引込線（AC 100 V）の入力端に夫々設置する。
- ②長距離に及ぶもの、屋外に露出する信号ケーブルと直結する入出力端に避雷器を設置する。
- ③近傍に落雷し易い避雷針等があれば、ケーブルが長くても短かくても避雷器を設置する。

4. 光波測距儀による距離計測

光波測距儀は、工事用測量、地形測量に広く用いられているが、地上の対物の位置、変位量の計測が可能であることから、地すべりの観測や構造物の変位の監視等変動量の計測への適用もまた考えられる。特に地すべり地表変動量の観測では、确实な不動点さえ得られれば、目標とする移動点の絶対変位量とその方向とが容易に得られる。面積の広い地すべりで、伸縮計を連続的に設置している場合に、相対変位量は容易に得られるものの、正確な絶対変位量がなかなか得られないことを考えれば、光波測量による計測は大きな利点を持っていると言える。絶対変位量の計測は、正確な地すべりの挙動を把握する上では極めて重要であることから、これを地すべり自動計測システムに組入れることによって、より正確な地すべり計測、高度な発生予知予測が可能となり得る。

しかしその反面、光波の伝播速度は温度や気圧、湿度等気象条件に左右されるため、測定値にかなりのバラツキを生じ、その精度が低下することは否めない。地すべり観測に至っては、気象条件に関係なく、極めて長期間の継続計測となることから、この問題は非常に大きく、これら種々の気象条件による影響を適正な方法で補正することが重要な課題となる。

そこで、種々の気象条件の下で、光波測量による長期間の継続計測を行なうことによって、その誤差の誘因となる因子を把握し、これら因子による実測値の適正なる補正方法を見出すことを目的とした実験を行った。以下にその結果、解析について述べる。

4.1 実 験

4.1.1 実験概要

実験は2点間の距離の計測を主として、これと併行して諸気象状況も把握した。地すべり特殊実験棟5Fに光波測距儀（PENTAX・PX10-DC……表4-1にその仕様を示す）を設置し、観測点として試走路沿いの水銀燈の鉄柱に、3素子型のプリズムを設置した。設置時に三角測量を行ない夫々の位置を確認したが、このときの測距儀とプリズム間の距離は $D_0 = 403.552\text{ m}$ で（図4.1）、この値を初期値（＝真値）とする。また、このときの気象状況を気象の初期値（ $T_0, P_0, H_0, \dots$ ）として補正式の基本とする。

気象の計測に関しては、地すべり実験棟の前庭に百葉箱を設置し、気温、気圧、水蒸気圧、湿度、地温、雨量を計測している他、測距儀を設置してある部屋の室温の計測も行った。これらは全て自動計測で、実験棟4Fの計測室のPCに接続されており、1時間ごとに計測された結果は、同一時間に計測された測距値とともにCRT画面に表示され、同時にプリントアウトされる。（模式図を図4.2に示す）

表 4 - 1 光波測距儀仕様

機 器		仕 様
光 波 測 距 儀	測 距 範 囲	0 ~ 2000 m
	測 距 精 度	± (5 mm + 5 PPM D)
	視 準 望 遠 鏡	正像, 3 倍, 視界 4° 50′
	使 用 温 度 範 囲	- 20 ~ + 50℃
	測 距 時 間 (1 回)	5 秒
	型 名	PENTAX PX - 10 DC
プ リ ズ ム 反 射 鏡	型 式	3 P ユニット A
	プ リ ズ ム 定 数	40 mm
	素 子 数	3 素子

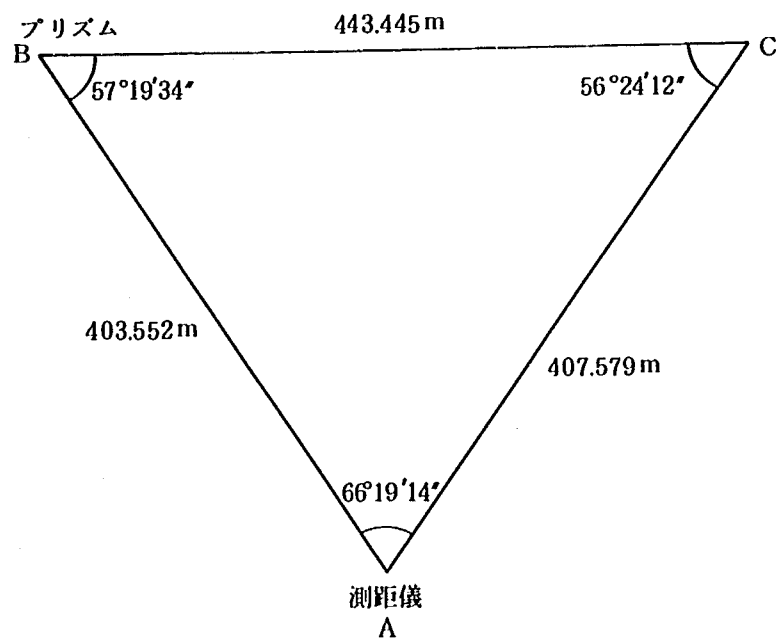
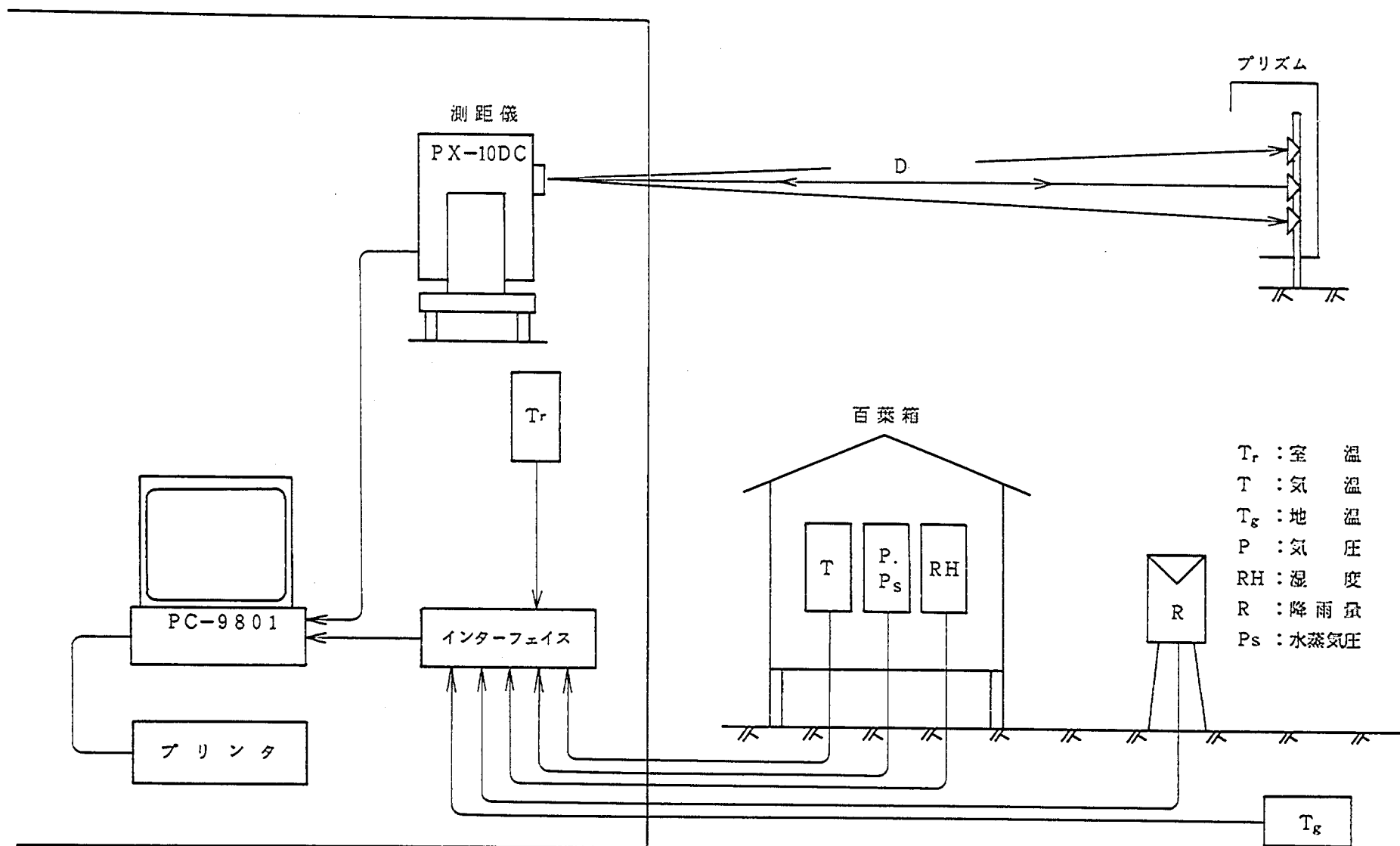


図 4. 1



実験模式図

図 4. 2

4.1.2 基礎実験

測距儀の精度、つまり測量の誤差は通常は次式で与えられる。

$$\Delta D = \alpha + \beta \cdot D \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots(1)$$

ΔD ; 測定誤差 (= 補正量)

α ; 定数項……距離とは関係のない誤差で器械による誤差

β ; 比例項……距離に関係する誤差で、主として気象条件による誤差

D ; 測定距離

上記の実験値のバラツキのうち気象による誤差 β は、今回の実験による補正の対象であるので、測距の精度を向上させるためには、事前に器械による誤差を最小限に抑える手段を取っておかなければならない。

器械誤差を抑える手段としては、1回の計測値を数回の繰返し計測の平均値として導くことが一般的であるが、その適切な繰返し回数が問題である。そこで、同一気象条件のもとで、この繰返し効果の実験を基礎実験として行ってみた。その結果、繰返し回数 n と標準偏差 σ との関係をプロットしてみると (図 4.3), σ は $n=20$ を超えるとほとんど変化しないか、あるいはむしろ若干増大している傾向にあることがわかる。すなわち、 $n=20$ 回がバラツキの小さい正規分布曲線をつくるのに最も効果的な繰返し回数で、実際の計測は20回の平均値をとった。1回の計測時間が5秒であるから、計測結果を出すまでには100秒かかることになるが、その程度の間ではもちろん気象条件の変化はないものと見なしてよい。

しかし、最適繰返し回数は一定のものではなく、距離と関係するとの報告もあることからこれを決定する場合には測距儀を設置する場所ごとに実験を行なう必要がある。

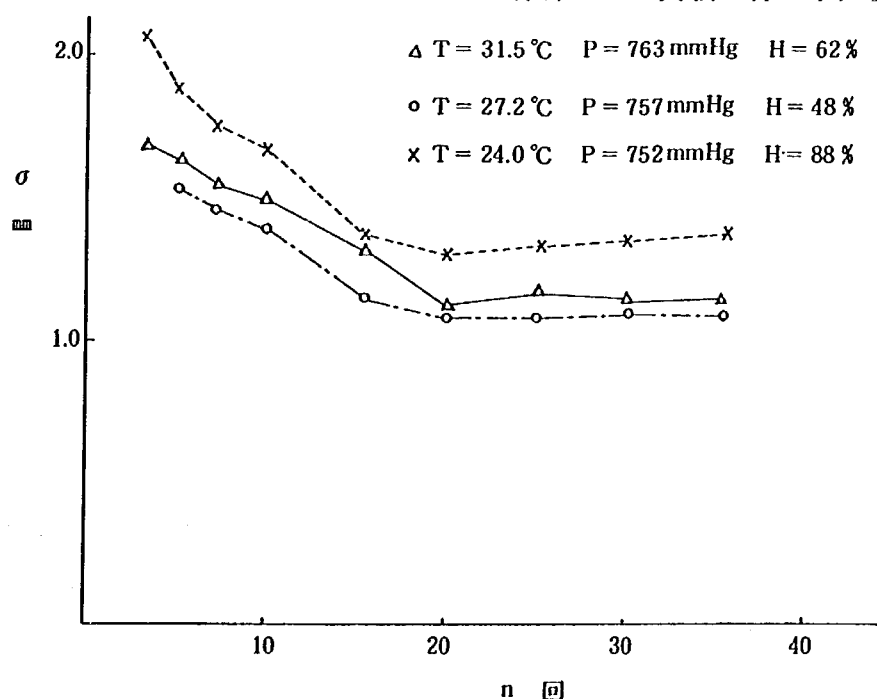


図 4.3

4.2 補正式

誤差の補正のうち比例項の補正、つまり気象の補正式としては須田の式が一般的である。

$$\Delta D = (0.0055 \Delta \lambda + 1.0 \Delta T - 0.4 \Delta P + 0.053 \Delta P_s) \times D \times 10^{-6} \dots\dots\dots(2)$$

ΔD ; 補正量 (m) D ; 実測値 (m)

$\Delta \lambda$; 光波の波長の変化

ΔT ; 温度変化 (°C) (= $T - T_0$)

温度の計測値 T_0 ; 初期値

ΔP ; 気圧変化 (mmHg) (= $P - P_0$)

T ; 気圧の計測値 T_0 ; 初期値

ΔP_s ; 水蒸気圧の変化 (mmHg) (= $P_s - P_{s0}$)

P_s ; 水蒸気圧の計測値 P_{s0} ; 初期値

補正值 D' (理論的には $D' = D_0$ とならなければならない) は次式となる。

$$D' = D + \Delta D \dots\dots\dots(3)$$

つまり初期測定時の実測値を真値 D_0 , λ_0 , T_0 , P_0 , P_{s0} を夫々の気象の初期値として、その後の測定値との差 $\Delta \lambda$, ΔT , ΔP , ΔP_s が補正の基本となっている。これは最も一般的な式であり、実験の補正式はこの式を基本とするが、この式は長期間の継続計測を念頭に入れたものではなく、また比較的变化の少ない気象状況で考慮したものであるから、この式を改良しなくてはならない。

$$\Delta D = (a \Delta T + b \Delta P + c \Delta P_s + d \Delta RH + e \Delta T_r + f R + \dots\dots) \times D \times 10^{-6} \dots\dots\dots(4)$$

ΔRH ; 相対湿度の変化

ΔT_r ; 室温の変化

R ; 時間雨量

$a, b \dots\dots$ 各変化量にかかる係数

つまり、気象計測によって得られる変化量を多項目考慮に入れ、その係数を未知数として、(どのパラメータがどの程度補正に対して支配的かを把握する) ことによって最適係数を決定し、適正なる補正式を見出すものである。

4.3 実験・解析結果

61年8月23日～62年2月25日の間の測距の実測値(補正なし)と補正值を図4.3.1～4.3.10のグラフに示すが、これは前述のように $D_0 = 403.552$ mを真値として補正式誘導に際しては、計測している全ての気象変化をパラメータとして、はじめに個々のパラメータによる相関をとって、その中でも相関係数の著しく小さい、地温、降雨強度をまず解析から除外した。その後、残りのパラメータ(気温、気圧、相対湿度、水蒸気圧、室温)の中から、2種類、3種類、4種類、全部の全ての組合せ(全部で26通り)で補正を行なった。(相関の高いものから順に補正を行ってゆき、 D_0 と D' との誤差が最小となるような係数が決まるまで、5～20回の繰返し計算を行っ

た)つまり、最適係数の組合せが26通り出てくるわけであるが、それぞれについて重相関をとって見たところ、気温、気圧、水蒸気圧、室温の4種類の組合せによる補正のものが最も高かったことから、これを最適な補正式とした。

8/23~10/21 (再設定機能なし)

$$\Delta D = \{ 1.27 (T-28) - 0.399 (P-760) - 0.178 (P_s - 10) \\ + 0.602 (T_r - 28) \} \times D \times 10^{-6} \text{ (m)} \dots\dots\dots (5)$$

10/21~2/25 (再設定機能付加)

$$\Delta D = \{ 1.22 (T-28) - 0.319 (P-760) - 0.668 (P_s - 10) \\ + 0.704 (T_r - 28) \} \times D \times 10^{-6} \text{ (m)} \dots\dots\dots (6)$$

補正式が10月21日を境に変わっているが、これは測距儀の機能が変化したことによるものである。10月21日までは測距の欠測が多く、全体の20%以上にも達したことから(測距儀の感知できる受光量の限界が一定であることから、気象条件によって減衰してその限界を下まわった光については感知できなくなり、欠測となってしまう)、それ以後は測距儀に再設定機能(受光量の限界を、そのときの気象条件に従って調整できる機能)を付加することによって欠測を激減させた(全体の2%未満)が、これによって実測値のバラツキは以前より大きく出る結果となった。いずれにしてもこの時期を境に、測距儀の機能は変化したことになるから補正式も上式のように、その前後で別個に導いた。

(5), (6)式で補正した結果は、信頼係数95%ではば2mmとなり、測距儀の仕様の誤差5mm+5mm・D(D=400mでは7mm程度)が著しく改善されたことになる。実際の現場での適用に当っては、更に他の気象条件(風速、霧、大気中の不純物等)を加味した補正と、異常値の解明とその是正を行わなくてはならないが、不動点から比較的離れた地点での絶対移動量の把握には、従来の伸縮計よりは、はるかに有効であると考えられる。

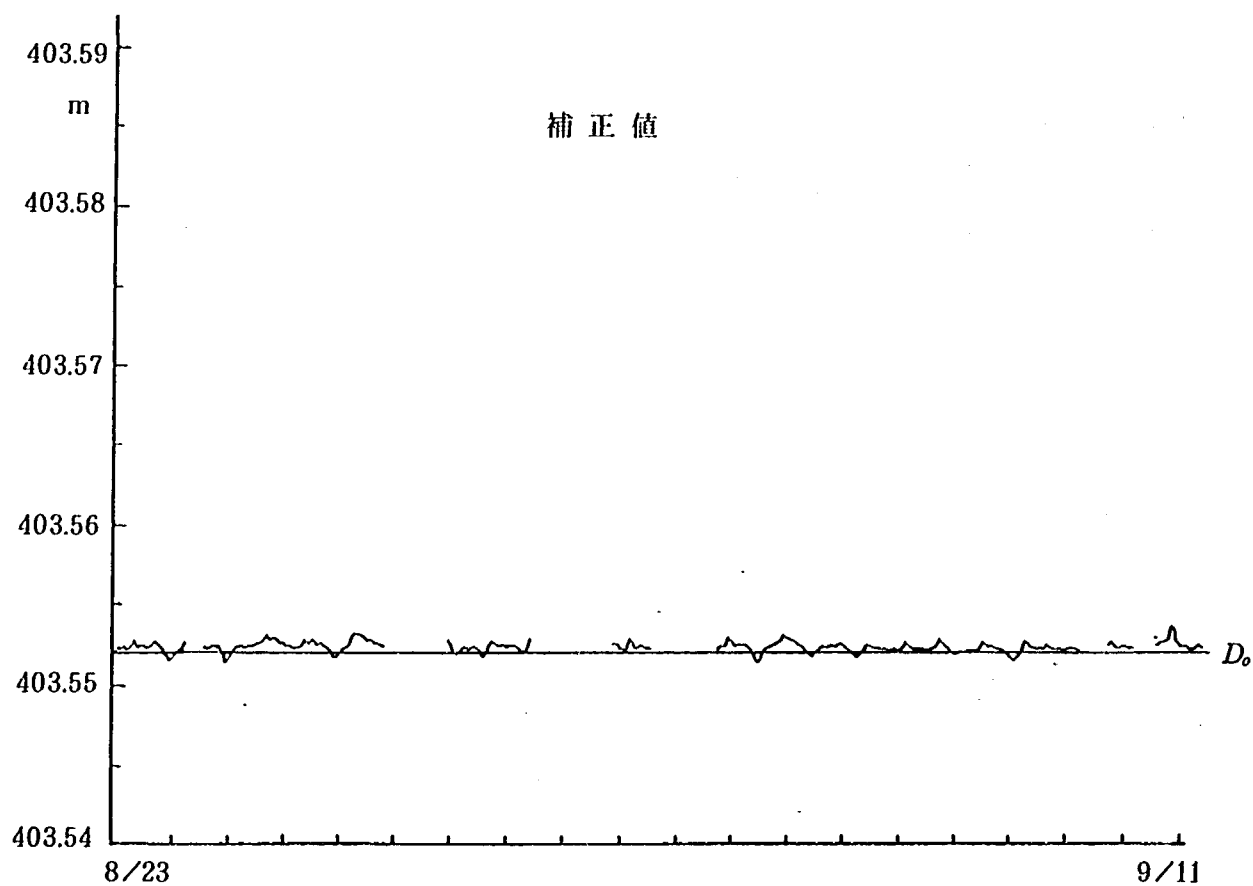
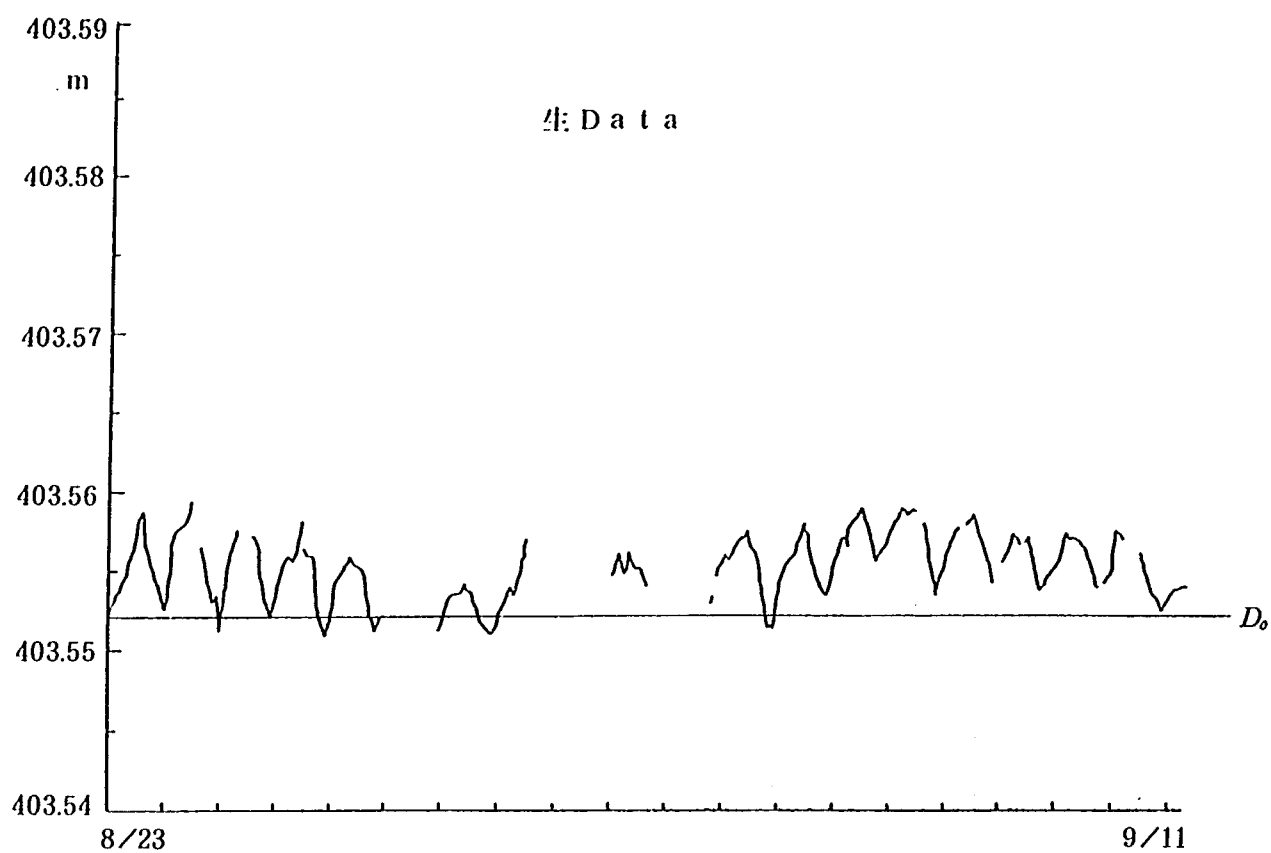


図 4-3-1

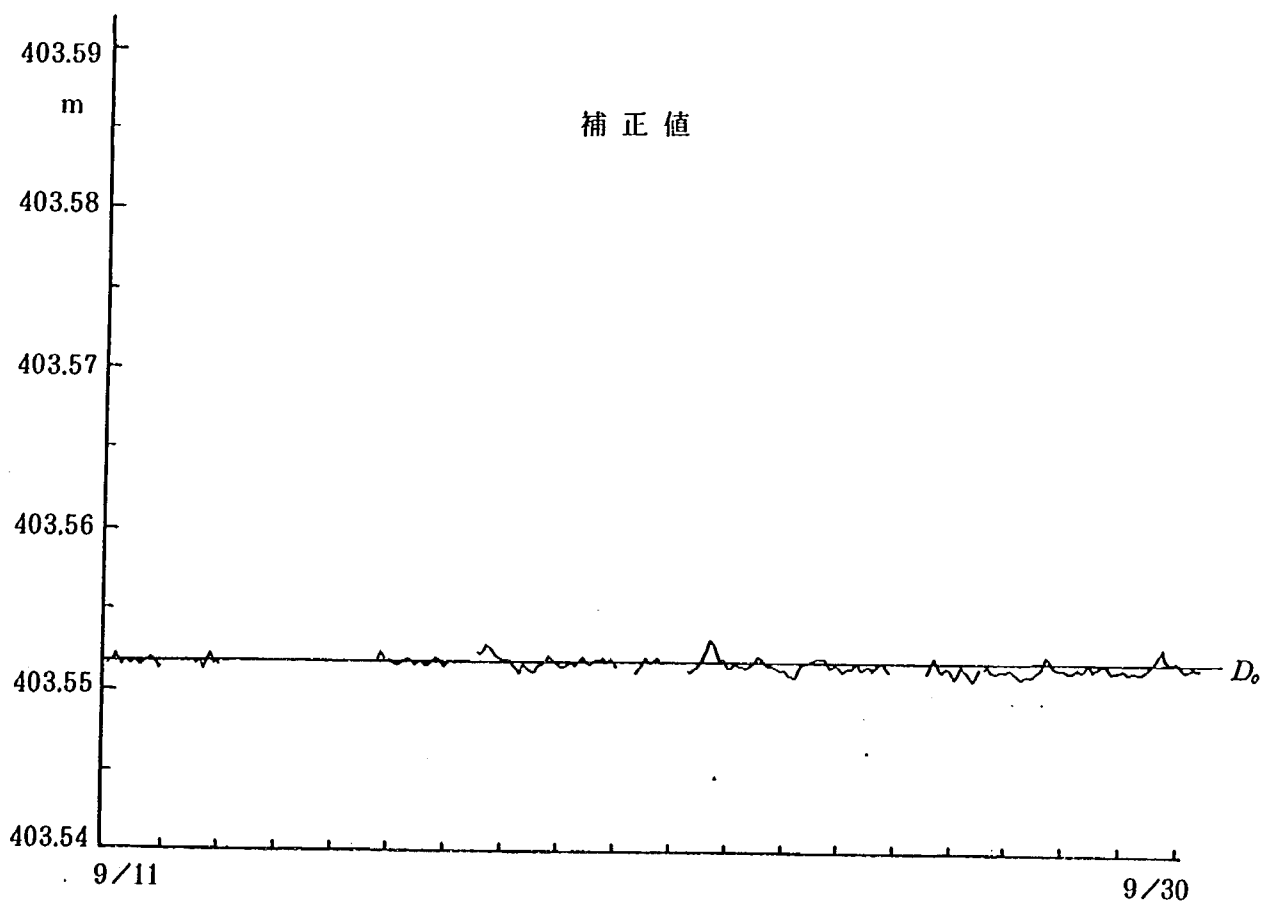
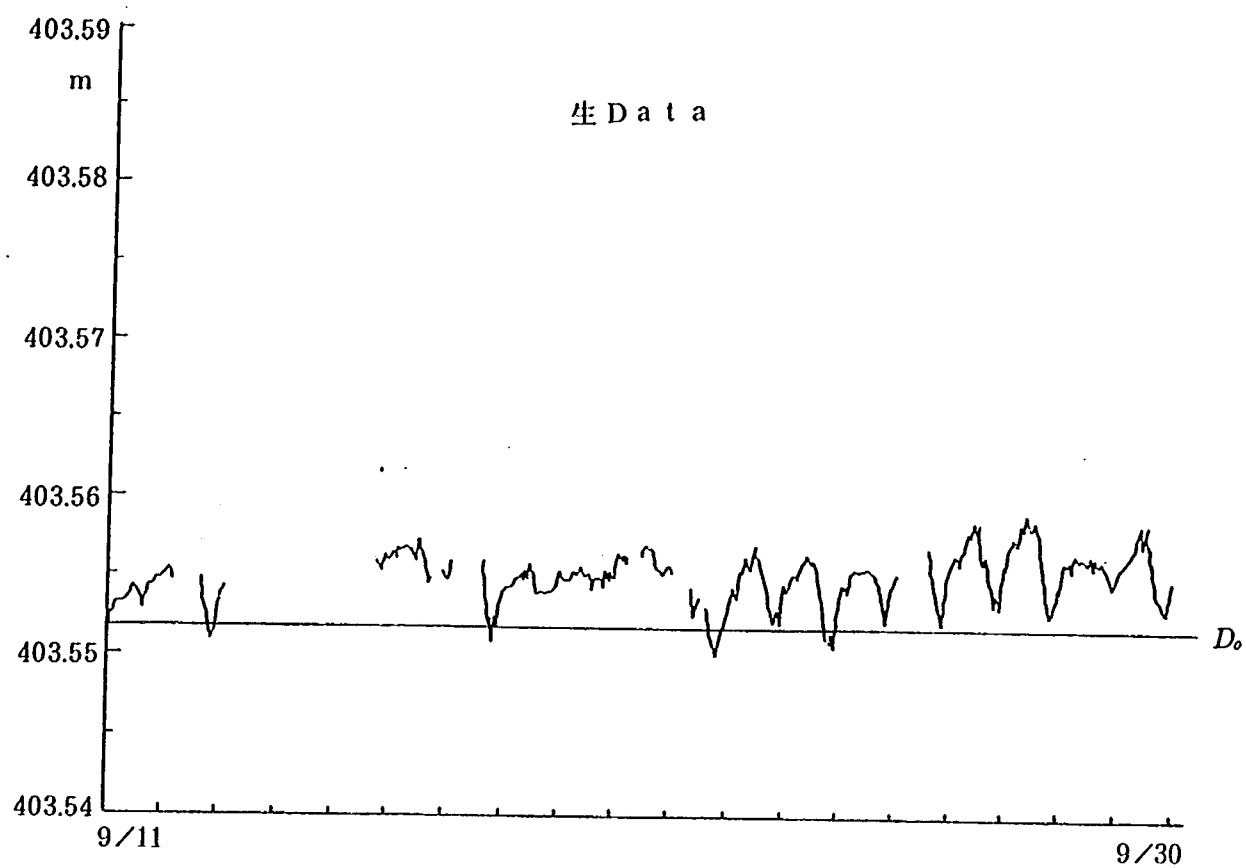


图 4-3-2

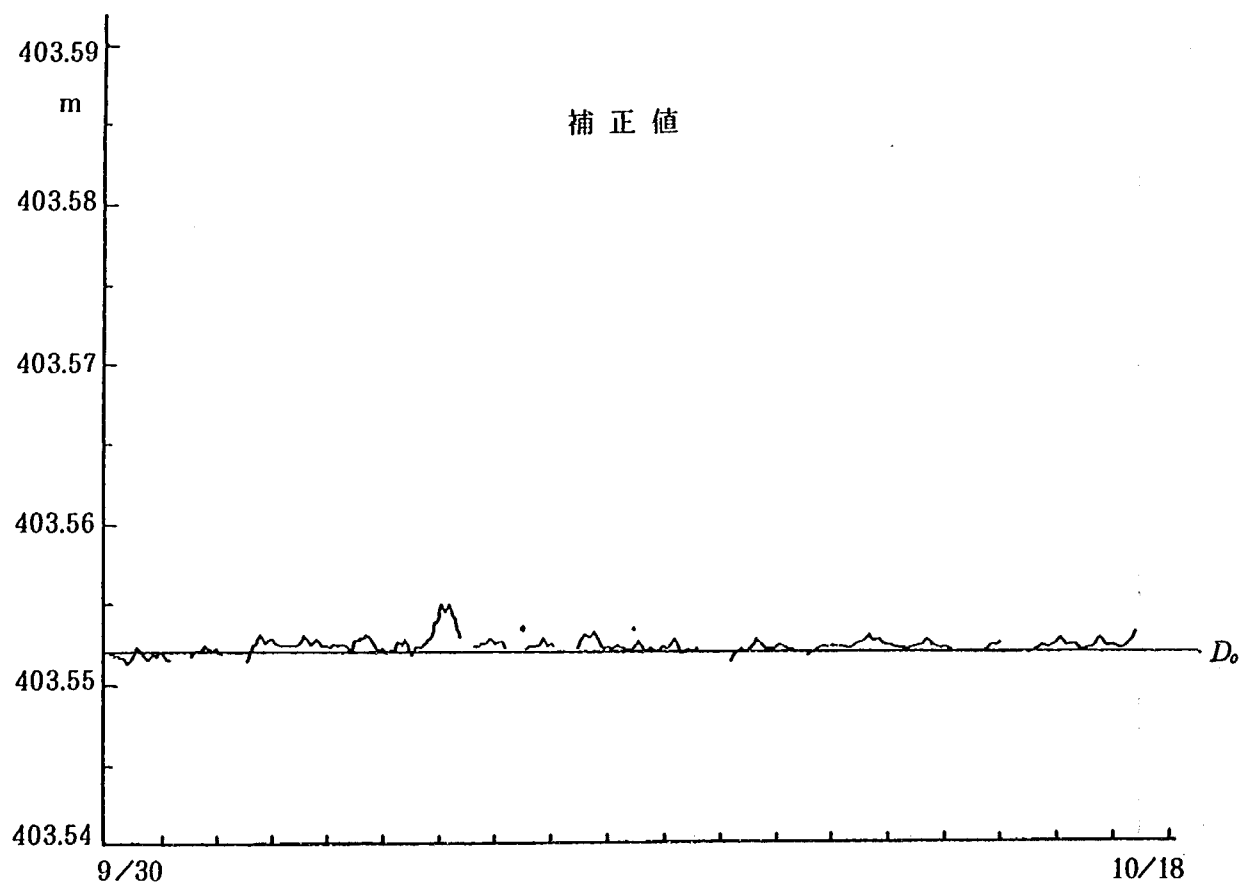
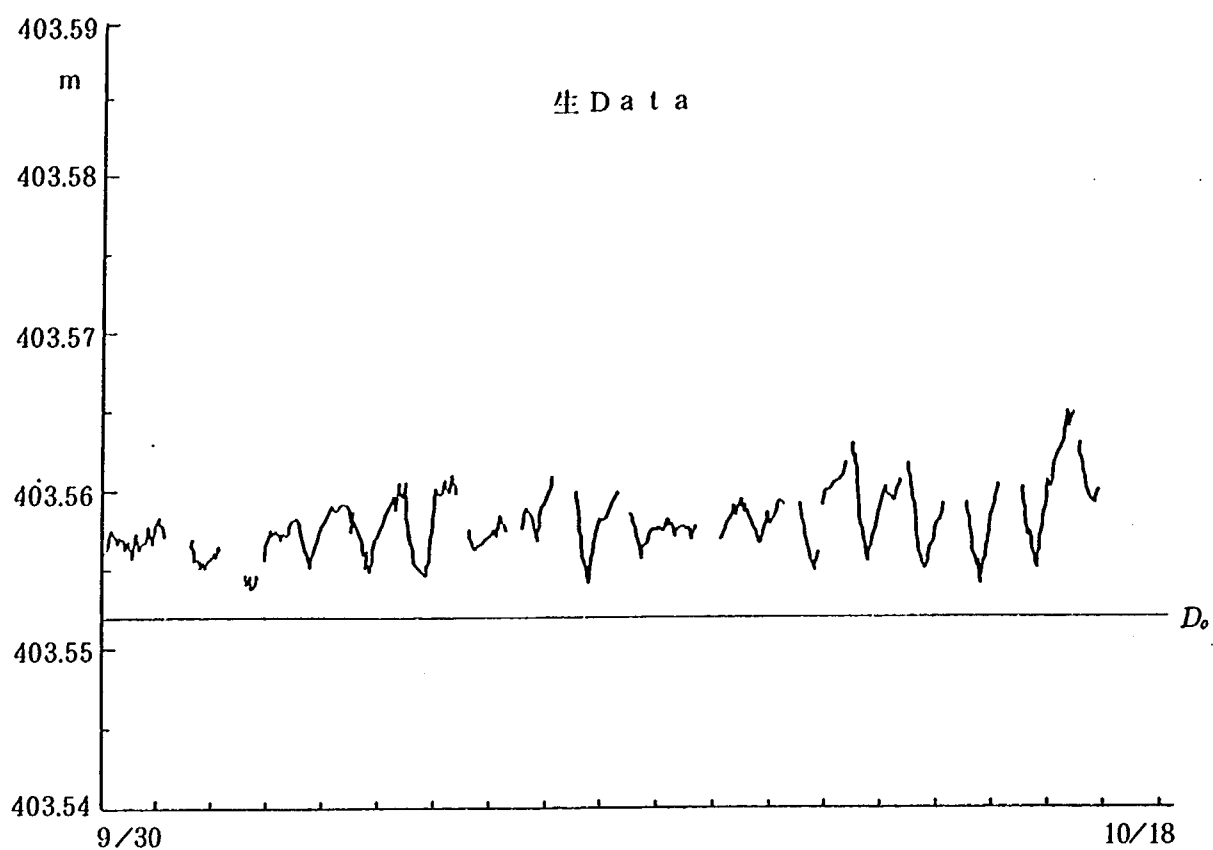
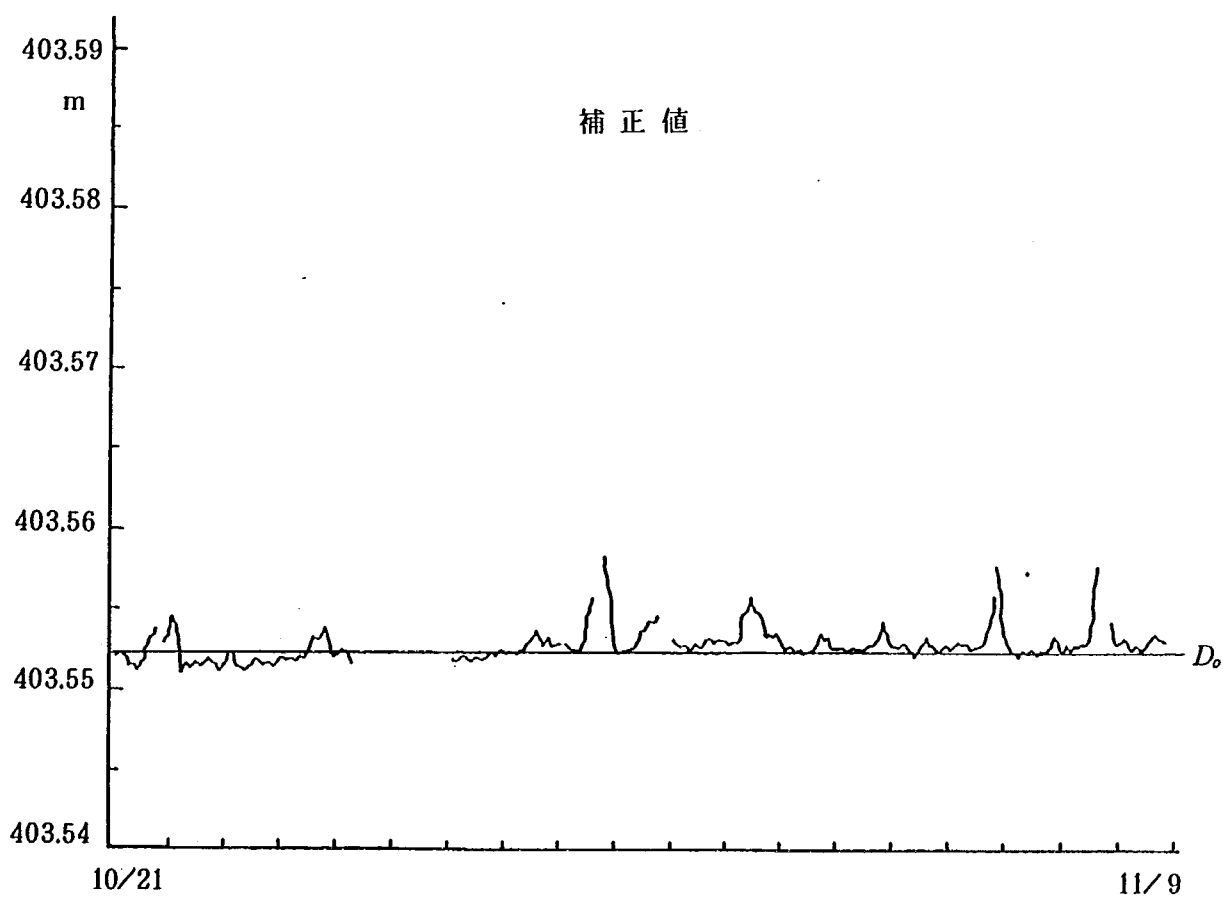
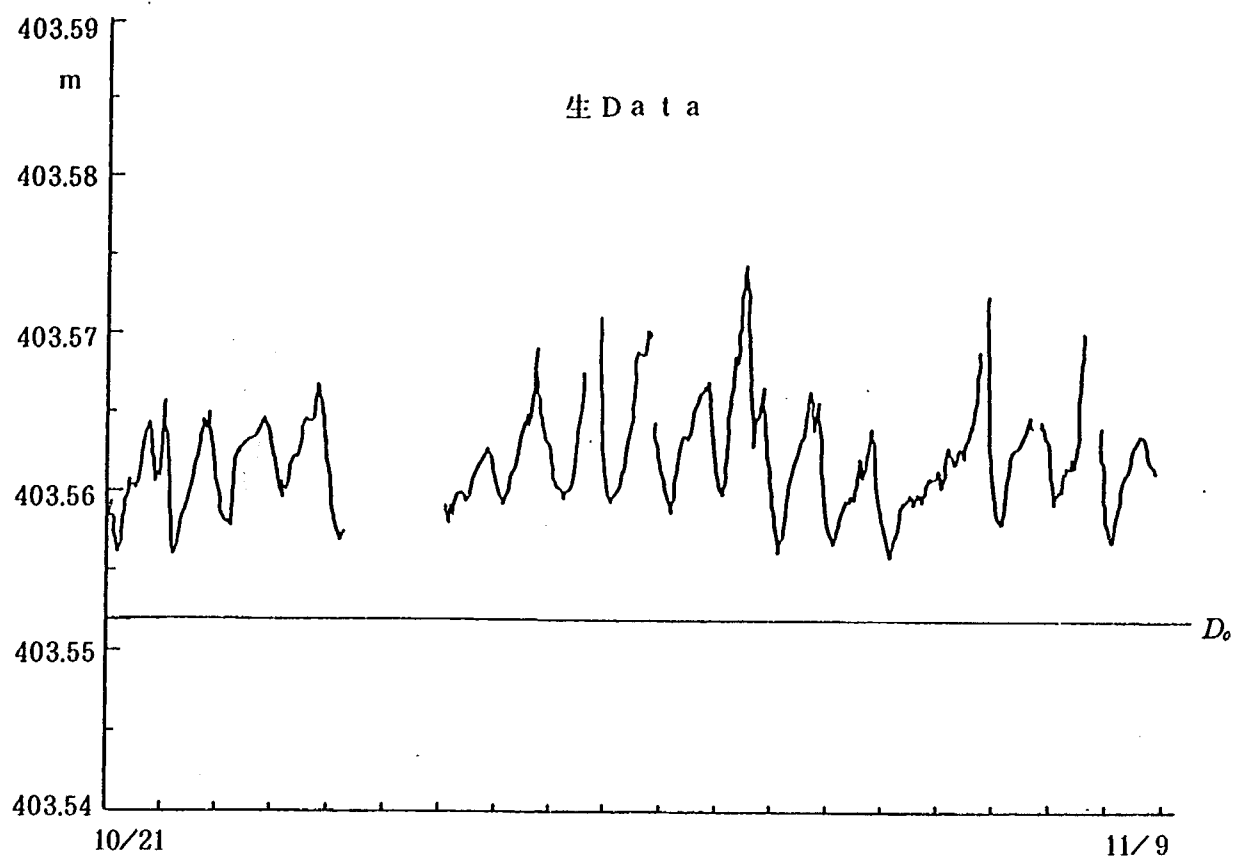


図 4 - 3 - 3



(再設定機能付加)

図 4 - 3 - 4

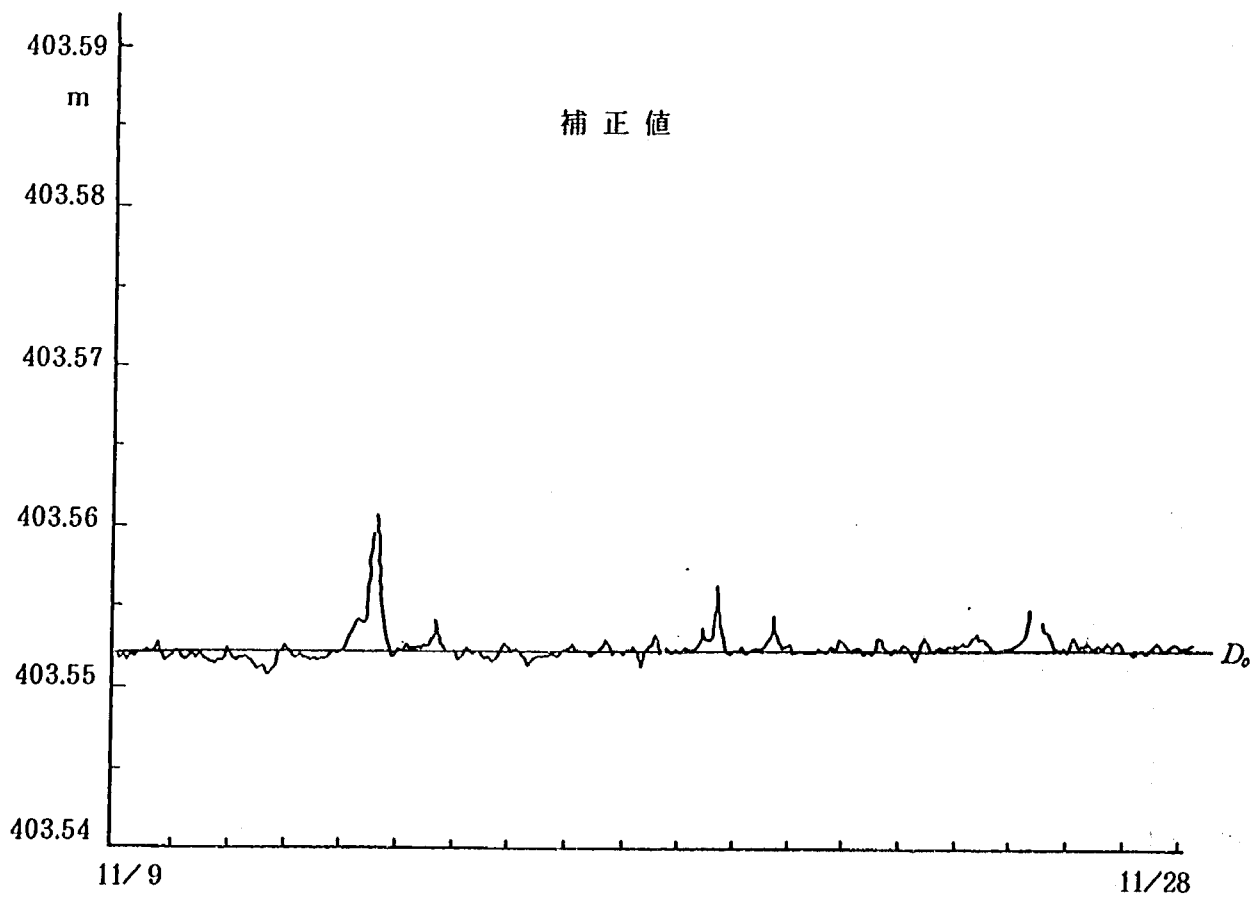
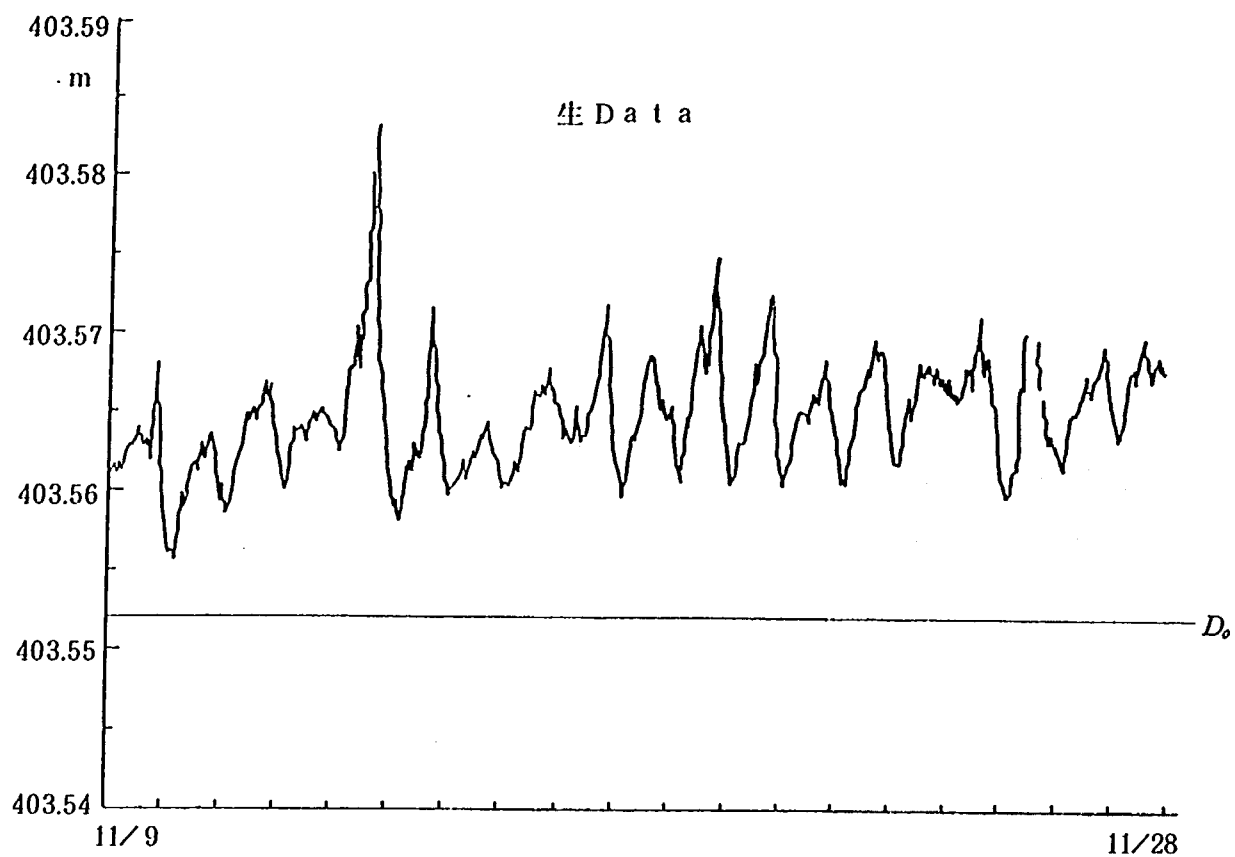


図 4-3-5

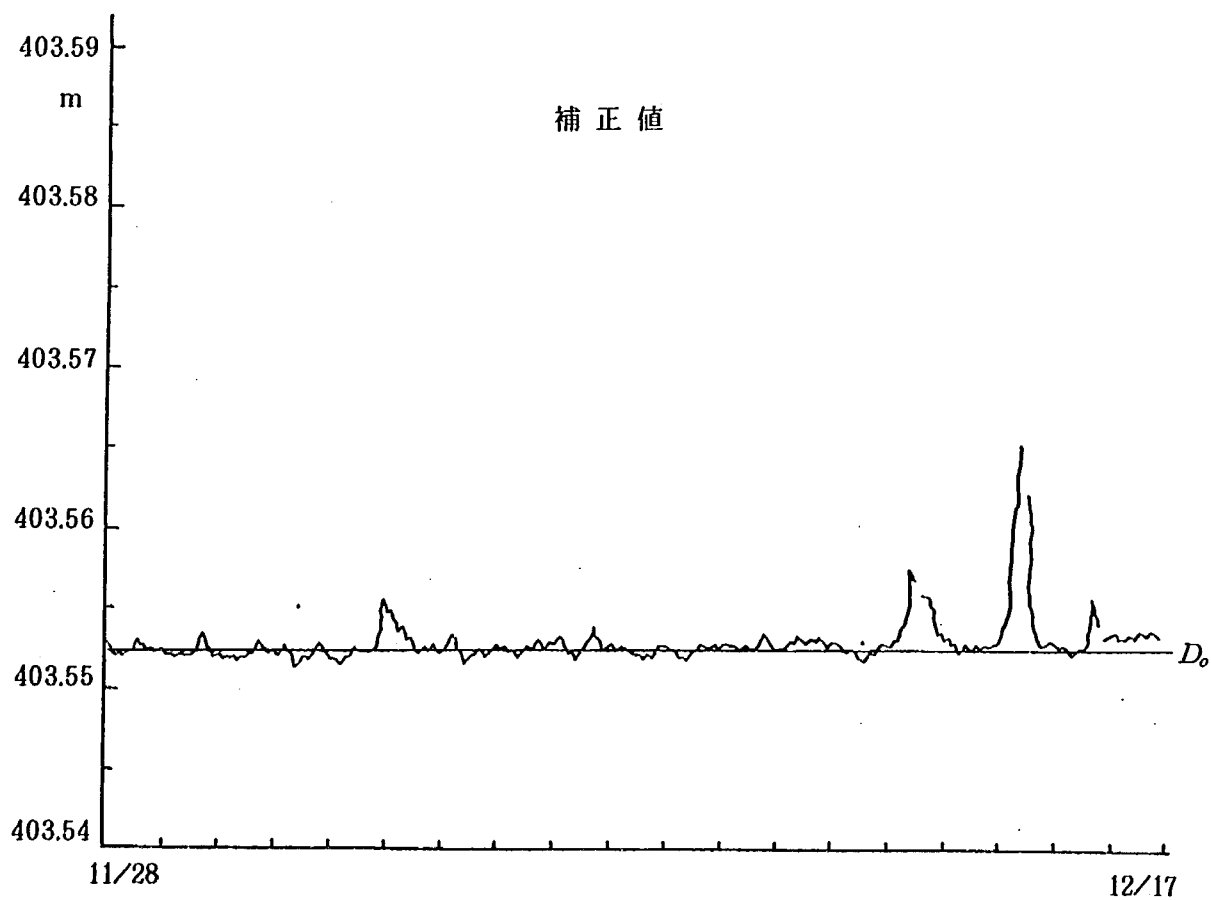
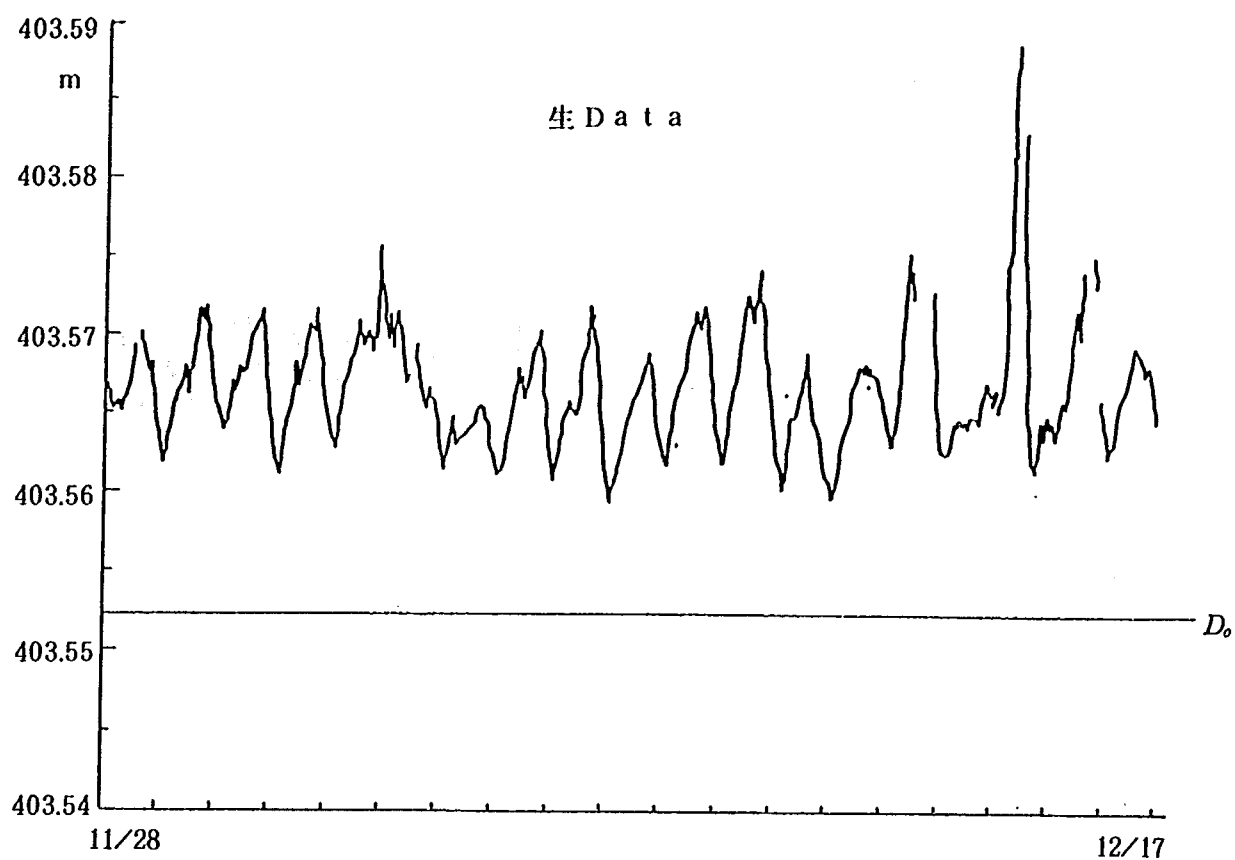


図 4 - 3 - 6

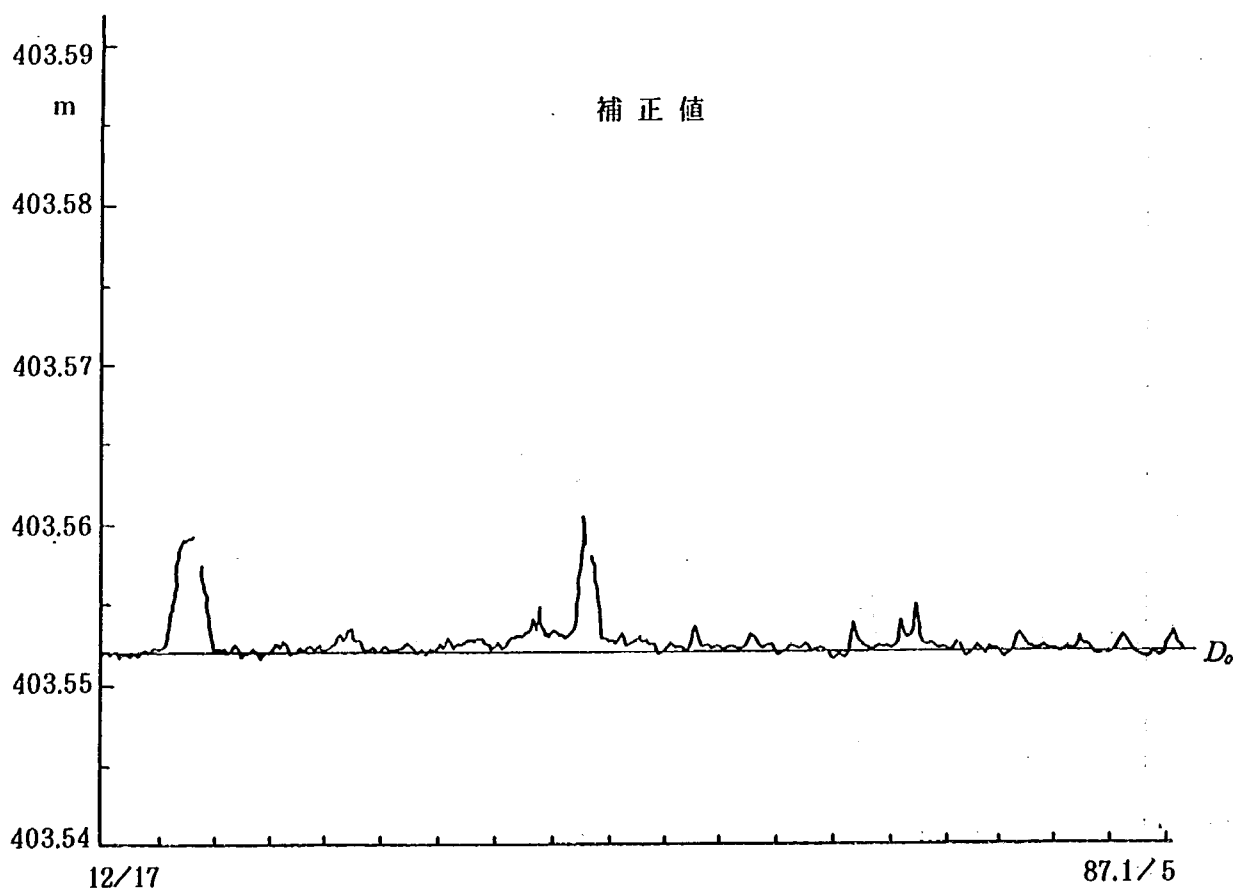
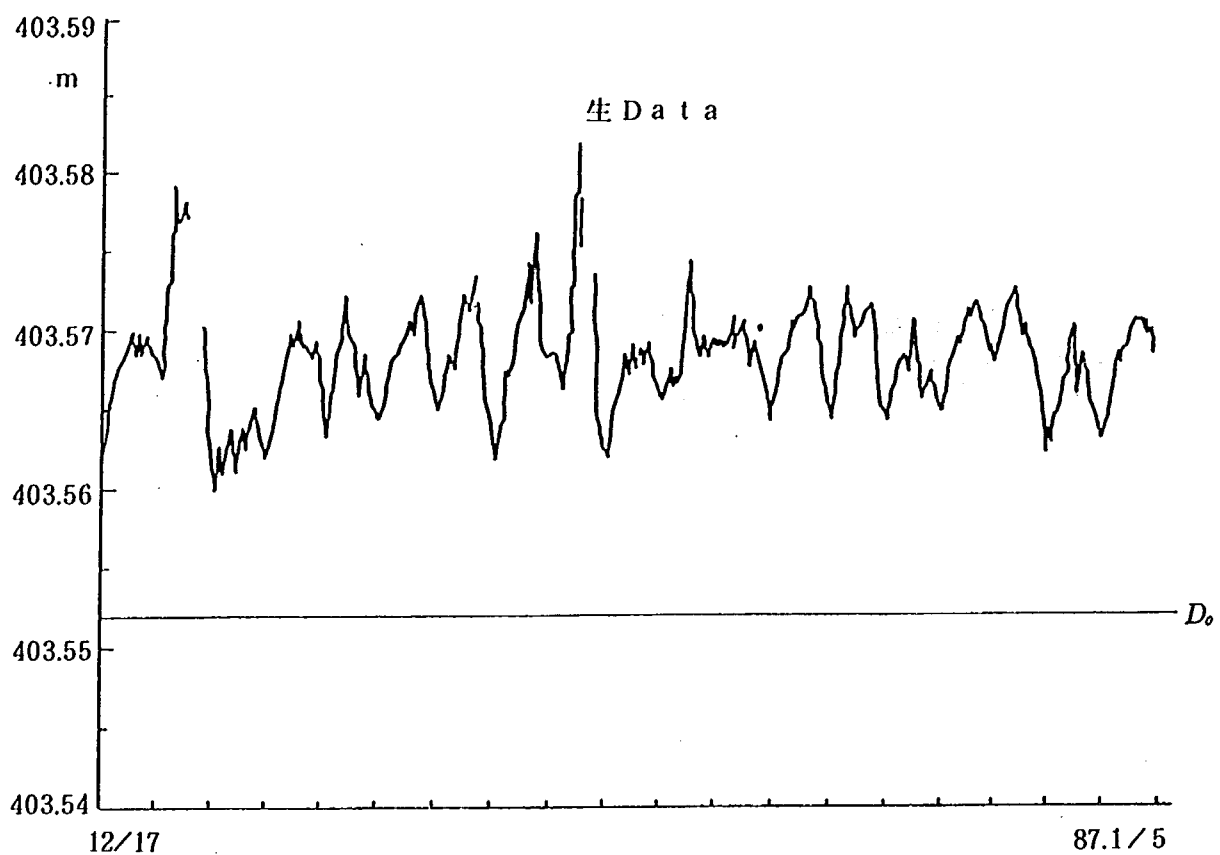


図 4 - 3 - 7

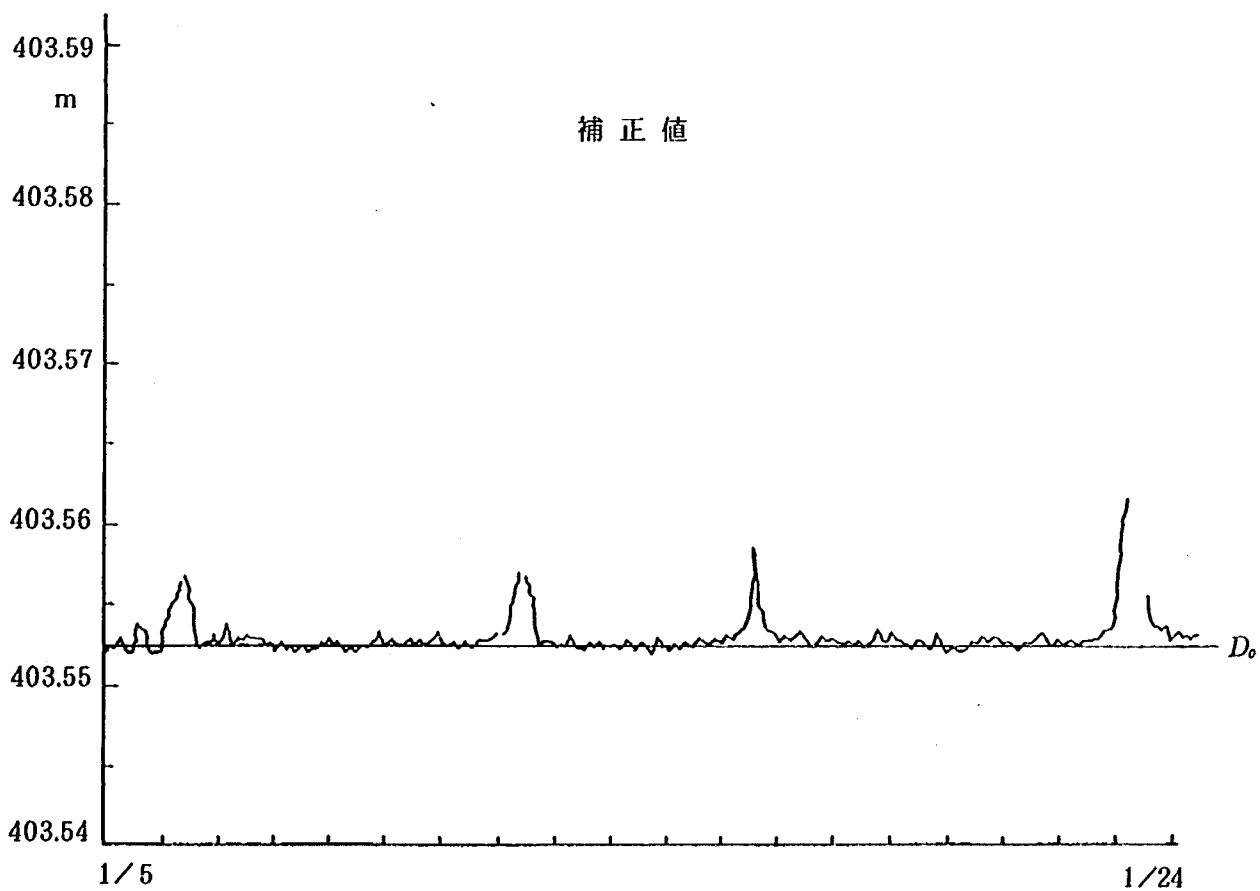
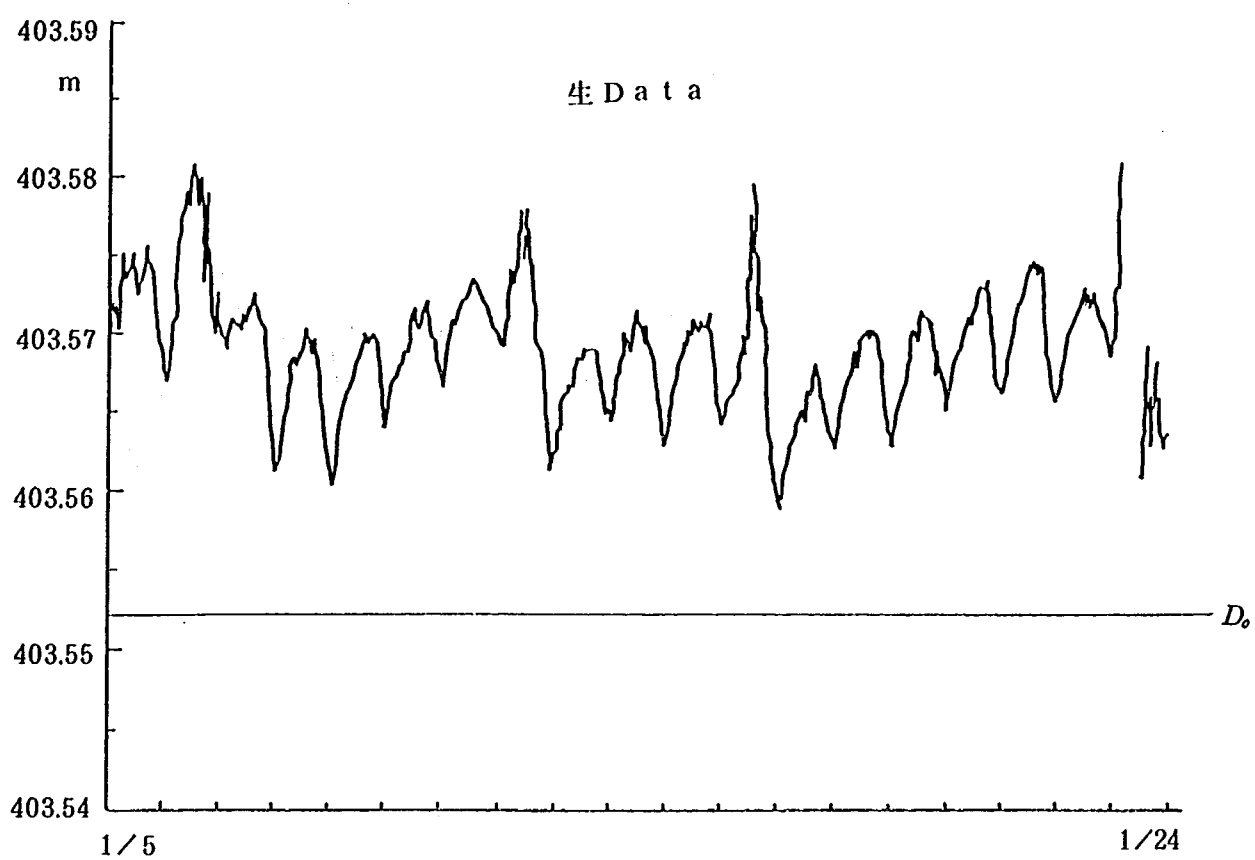


図 4-3-8

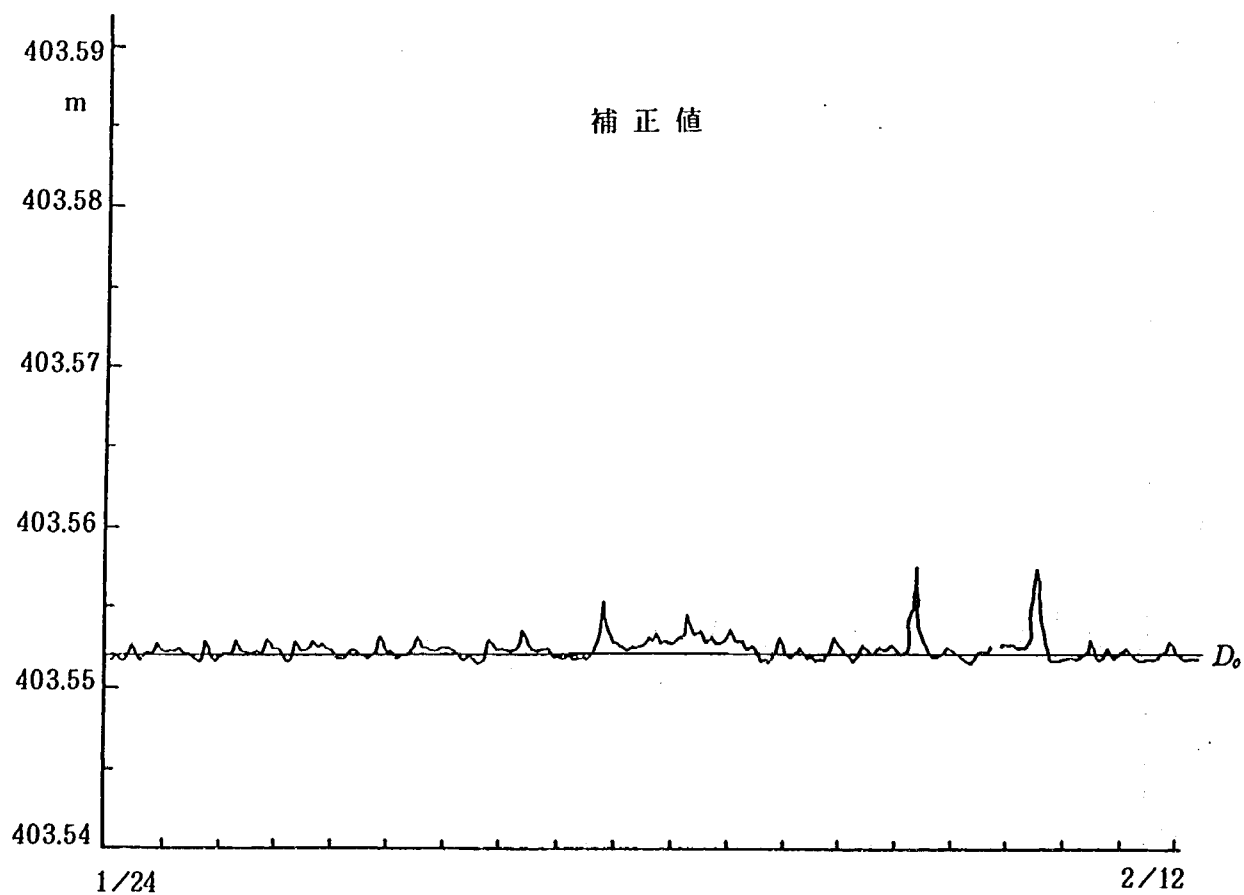
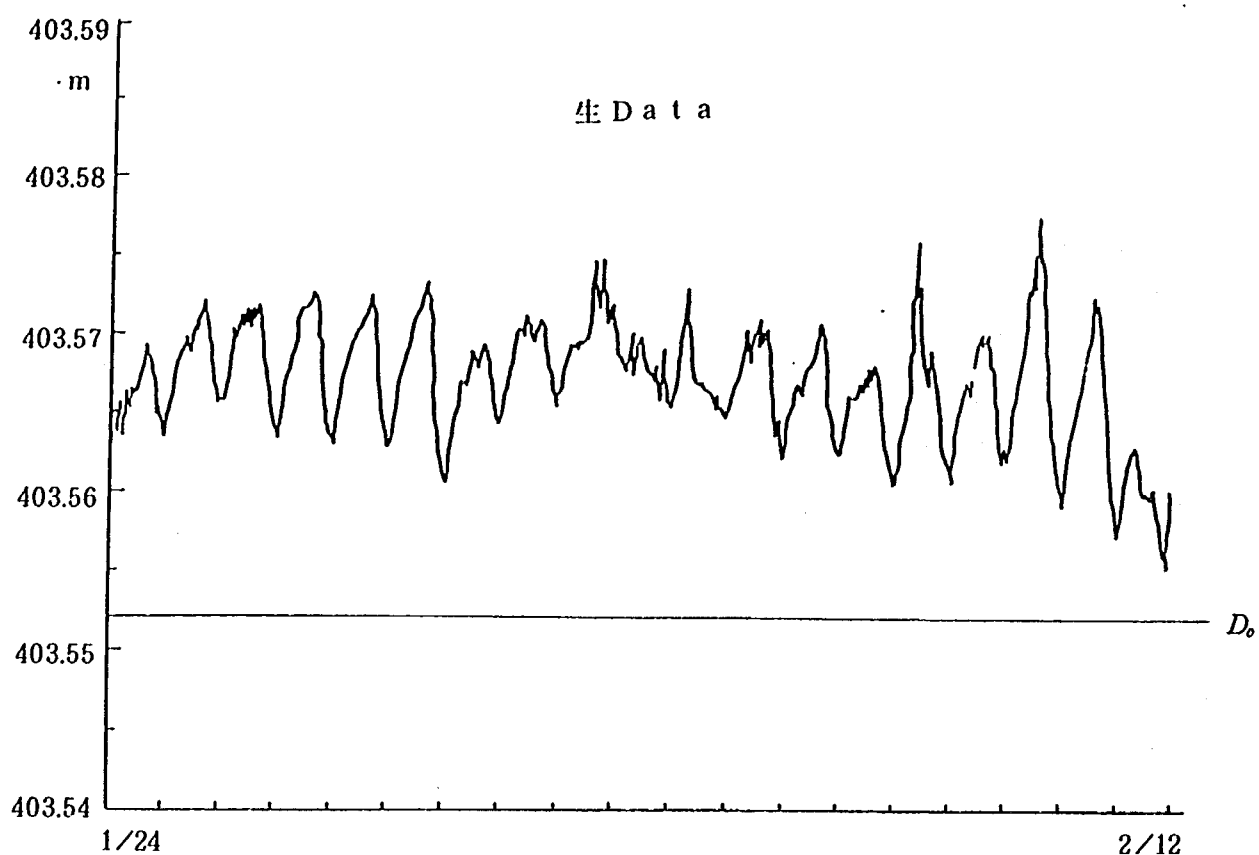


図 4-3-9

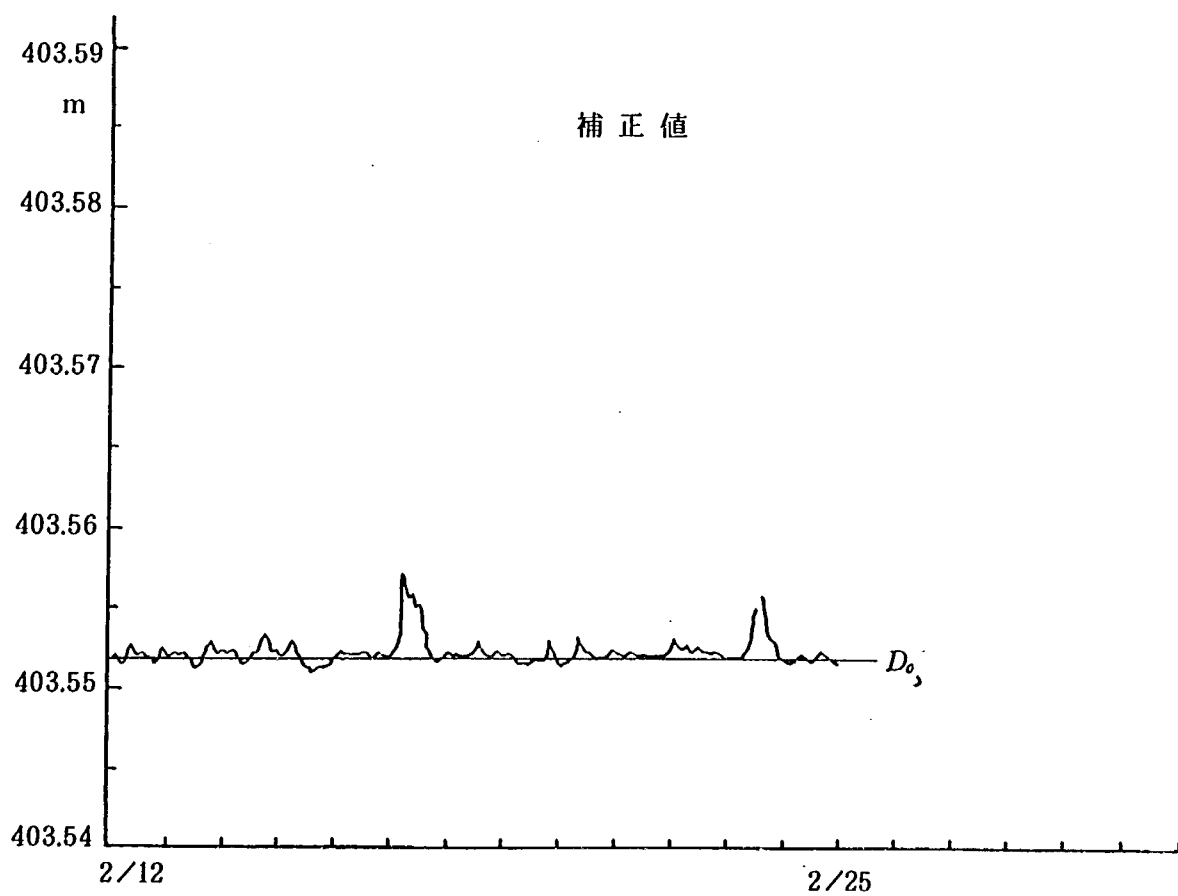
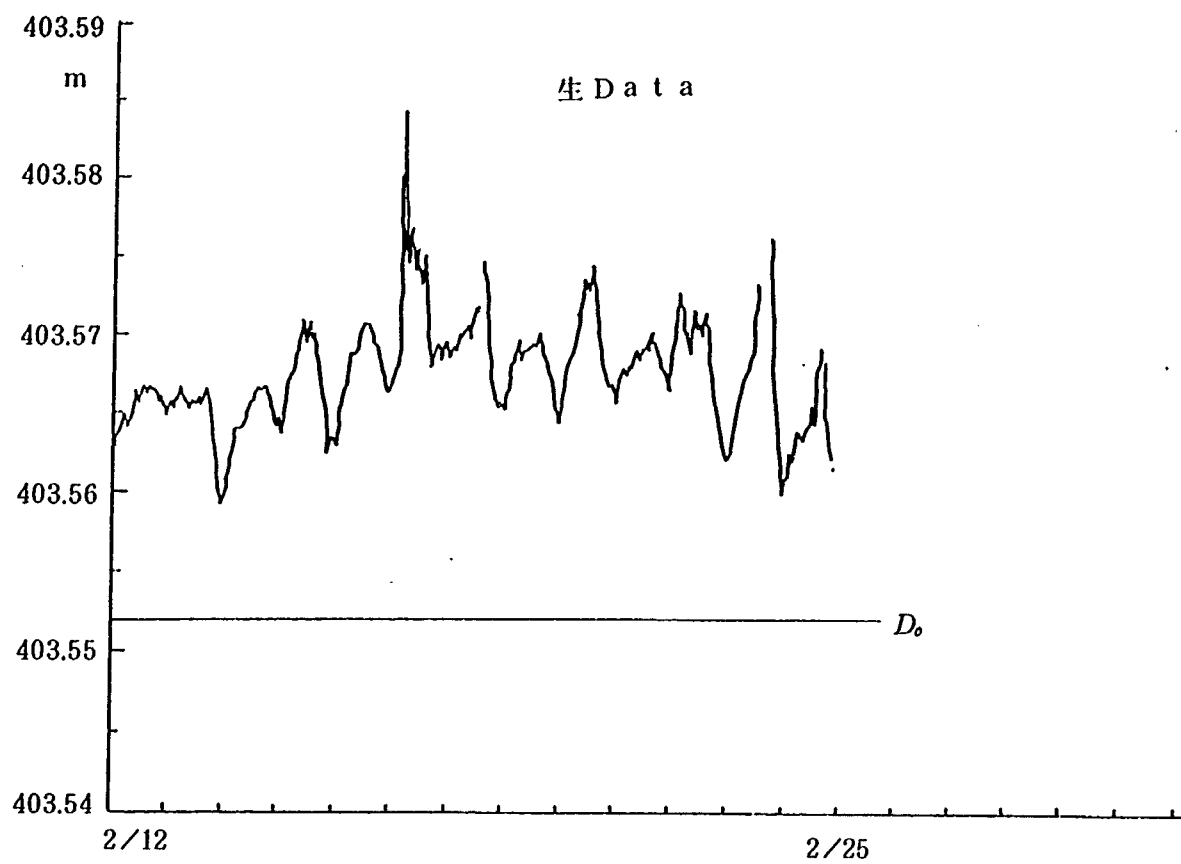


図 4 - 3 - 10

おわりに

地すべりの動態観測が行なわれるようになって30年にもなり、その間この結果を基にした現象の解析も詳しく行なわれてきたことから、ブラックボックスであった地すべりの機構もかなり解明されてきたことは事実である。しかし、今だに地すべり災害が後を断ないのは、一つに国および自治体の予算的制限があるという事実、また一つに道路・ダム建設、宅地開発といった人為的行為が特に多くなってきたという事実が挙げられるが、それ以上にこれらをフォローできるだけの動態観測体制が整っていない事実を見逃すことはできない。

従って、地すべり現象を早期に把握できるような体制を整備するということは不可欠なことであり、その意味で自動計測システムの導入は極めて重要であると言える。しかし、このシステムの整備は安価にできるものではなく、まだそのノウハウも確立されていないことから、全ての地すべりの全ての計測項目に対してこれを適用することは欠して現実的とは言えない。個々の地すべりの持つ重要度をまず考慮に入れ、何を計測することによってその地すべりの動態が把握できるかを見極め、自動計測を行うべき範囲を決定しておかなければならない。

また、自動計測システムは、その活用を誤まれば、導入した意義は極めて薄く、無用の長物ともなりかねない。すなわち、このシステムは、人間の意志決定支援システムであることと、警戒避難や交通規制等ソフトな対応のできるシステムが整備されていないと、その導入の効果は発揮されにくいものであることを忘れてはならない。

地すべり動態観測に
関する検討

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2474号
昭和62年3月(1987)
地すべり研究室
中村浩之・石黒 互

要 旨

地すべりによる災害を未然に防ぐためには、その挙動を正確に把握し、発生兆候を早期に捕えなければならない。このためには地すべり動態観測を充実させる必要があるが、これを自動計測システムの面から捕え、センサーの自動化の方法、システムの構成等地すべり動態観測システムのあり方について調査、検討したものである。

キーワード：地すべり動態観測、自動計測システム、センサー、
光波測距儀、補正式

郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2474号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印