

2.6.6 パイプひずみ計

戦後、地すべり災害の防止対策が進められるようになり、その合理的対策計画を遂行するために地すべり調査法の開発が求められた。その中でも、地中の地すべり面の位置を求めることが最も緊急な課題であった。新潟県において、全国に先駆け1950年代から新潟県技師湊元光春博士を中心として、地すべり面の位置を求める観測法の研究開発が積極的に行われてきた。1957（昭和32）年に、栃ヶ原地すべり地で地質調査ボーリング孔にブリキで作成したパイプを挿入して、その孔内に測定錐を上下に移動させてすべり変形箇所を測る「すべり面測定管」¹⁾、²⁾を開発し地すべり面位置の調査を行っている。図2.6.30に、すべり面測定管を示す。その後、1960年代に入りより精細に地すべり面の測定を可能とするパイプひずみ計を開発した。これらの観測法は地すべり調査対策の進展はもとより、これから得られる貴重なデータは地すべり機構の研究に大きく寄与している。

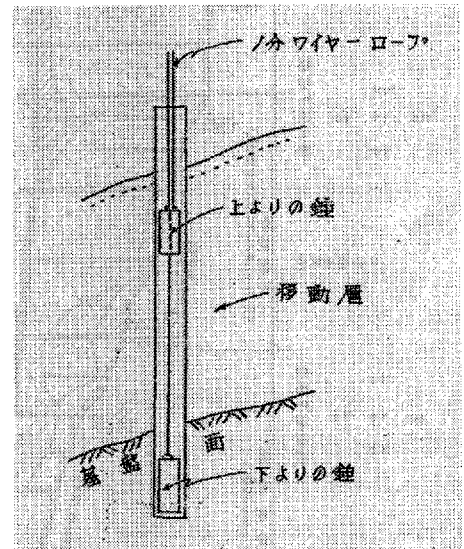


図2.6.30 すべり面測定管（測管）

（1）パイプひずみ計の誕生

パイプひずみ計は新潟県技師湊元光春氏を中心にして地すべり面の位置を測定するために開発され、1962（昭和37）年、栃ヶ原地すべり地内の小林沢地すべりで観測調査が実施された。ここで得られた内部ひずみ量と地下水位及び地表面移動量の関係から、融雪期と外の時期とでは、地すべり移動の機構に大きな差があることを明らかにしている³⁾、⁴⁾。

当時、ひずみゲージ（ストレインゲージ）は機械工学分野において部材の微小変形測定に使われており、主に室内実験等で使われるもので紙製のひずみゲージが一般的であった。ひずみゲージを利用したパイプひずみ計の先駆的発想の斬新さはもちろんであるが、環境条件の厳しい地下水下の地中深くに設置するパイプひずみ計の完成までには、ひずみゲージの接着、完全な絶縁シール、完全な防水シールが整って初めて可能であって、当時の使用材料や技術から想像してその道のりは大変な苦労と努力があったものと推察する。

開発時のパイプひずみ計の断面図を図2.6.31に示す。塩化ビニール管を縦に4つ割にして各50cm毎にひずみゲージを貼り、その後、塩化ビニールの内管に固定し、その外側に密着する塩化ビニール管に挿入し図の様に一体化している。

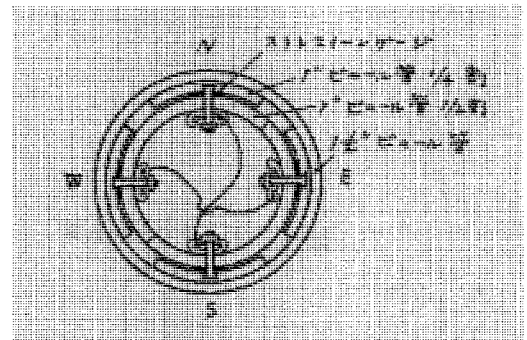


図2.6.31 開発パイプひずみ計の断面図

初期のパイプひずみ計の製作作業を写真2.6.34～写真2.6.37に示した。写真2.6.37に建て込み用のボーリング作業を示す。

初期のパイプひずみ計には耐久性にやゝ問題があったり、また、薄肉厚の塩化ビニールパイプで作られた長尺パイプひずみ計では自重によるパイプの座屈などの問題が生じている⁵⁾。

現在では、器材の進化や品質管理の向上及び規格化等によって、パイプひずみ計の耐久性、信頼性が大きく向上した。また、近年のIC化等の進歩にともなって簡便な自動観測が可能となり積雪期間の観測や遠隔地での観測も容易にできるようになった。パイプひずみ計は、観測作業の簡便さと高い信頼度からすべり面判定に有効な観測手法として広く使われている。

これまでは、パイプひずみ計で計測した「ひずみ量」と「すべり移動量」の関係が不明確であっ

たことから、すべり移動量については主観的な曖昧な評価をせざるを得なかった。



写真2.6.34 ひずみゲージの貼り付け
(福本安正氏撮影)



写真2.6.35 絶縁・防水シール加工
(福本安正氏撮影)



写真2.6.36 ひずみゲージの導通試験
(福本安正氏撮影)



写真2.6.37 建て込み孔のボーリング
(福本安正氏撮影)

(2) パイプひずみ計の課題とその後の取り組み

パイプひずみ計は、ひずみゲージを50cm～100cm間隔で貼った塩化ビニールパイプを地中に埋設し、パイプの変形ひずみを検出するものである。これまでブラックボックスであった地中のすべり動態をパイプの変形状態から間接的に明らかにしようとするものである。埋設したひずみパイプは地中のすべり土塊の変状に追従して変形（たわみ変形）し、その変形をひずみ量として測定している。パイプのたわみ変形が大きい位置で大きなひずみが生ずることから、ひずみ量を測定することによって大凡のすべり位置は推測できる。しかし、測定されたひずみ量とすべり移動量とは一義的な関係が成り立たないことから、ひずみ量から直接的にすべり移動量を求めることができない。時に、調査現場ではこのことが十分に理解されないまま地すべり解析が行われる場合もあった。パイ

プひずみ計の開発当初から、測定ひずみ量とすべり移動量の関係を明らかにすることが最大の課題でもあった。1971（昭和46）年、山口真一氏はパイプひずみ計について「観測で得られたひずみ量とパイプの変形や地中土塊の移動量との関係が分からなければ、土塊の移動機構について定量的論議やすべり面の深さは解析できない⁹⁾」とその重要性を指摘している。これまでにパイプひずみ計のひずみ量とパイプの変形（すべり移動量）の関係を求める理論的な研究は多くなされてきてはいるが、そのパラメータ決定の難しさや諸条件の不確実性等から地すべりの現場に適用できるまでに至っていなかった。1996（平成4）年、早川（新潟大学）はパイプの変形ひずみ量からパイプの変形形状を再現する理論式の構築を試み、モデル実験によって理論式の検証^{10), 11)}を行った。次いで、新潟県の協力のもとで雁平地すべり（土木部所管）、小池地すべり（農地部所管）、宇津野俣地すべり（治山課所管）において、本観測システムの現地地すべりでの適用性について検証を行い、その有効性を確認した^{12), 13)}。また、すべり変位解析及び解析結果を図化する汎用ソフトを併せて構築した。

以下に本変位解析システムによる、2000（平成12）年1月両津市椎泊地区に発生した大規模地すべり（幅400m、長さ900m）の観測・解析事例を示す。椎泊地すべりでは本観測システムが7地点で実施された。写真2.6.38、写真2.6.39を参照。B-3孔は地すべりの中央部に位置し、ボーリング調査から地すべり面が深度85m付近に想定されることから、すべり変位観測は深度55m～105mの区間で行っている。なお、ひずみゲージ間隔は50cmである。2000（平成12）年8月～2002（平成14）年1月間の解析結果を図2.6.32に示す。図中の左の図はひずみの累積であり、中央の図はパイプの変形形状（土塊の変形形状）を示している。右図はすべり面位置のすべり移動量の累積を示す。ここでは1日毎の解析結果を示している。解析結果から深度88.0mに顕著なすべり面が生じていることが分かる。深度101.0mと102.5mに初期に微少な変位が見られる。図2.6.33はこの3つのすべり面のすべり移動量を経時的に示す。本変位解析法はすべり面の位置、すべり移動量及びすべり速度等を経時的に解析することを可能とした。

パイプひずみ計は50年前、湊元光春氏の懸命な努力によって新潟の地で誕生した。湊元大先輩の後を追いつ指導を頂きながら地すべり調査研究に携わった者として、パイプひずみ計に残されていた課題を些かでも解決し、新潟の地すべりにおいて実現できたことは幸運である。本すべり変位解析手法が、今後の地すべり調査・研究・対策の進展に多少なりとも役立つことを願っている。

おわりに、湊元光春博士が成し遂げられた数々の偉業は地すべりに携わる後輩への大きな贈り物であり、新たに挑戦する力の源泉となっている。

（早川 嘉一）

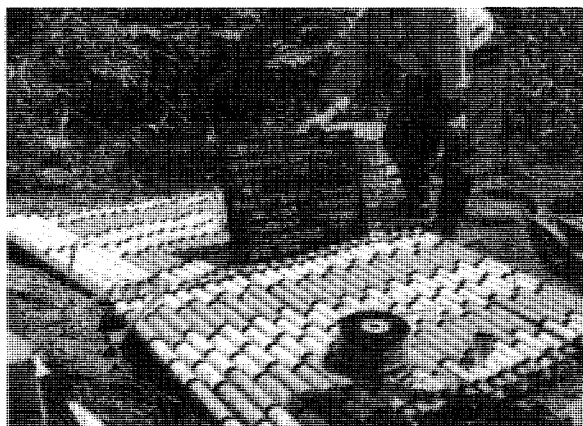


写真2.6.38 建て込み前のパイプひずみ計
椎泊地すべり

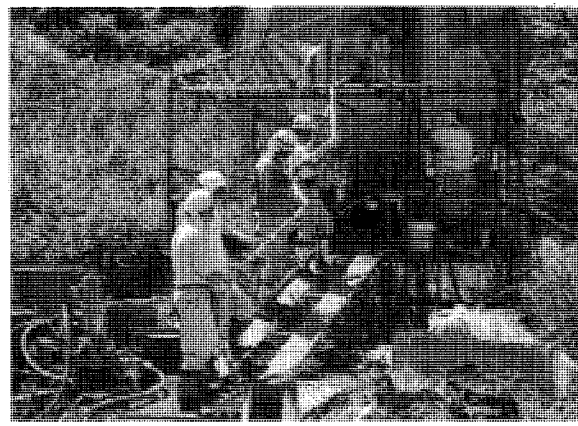


写真2.6.39 パイプひずみ計の建て込み作業
椎泊地すべり

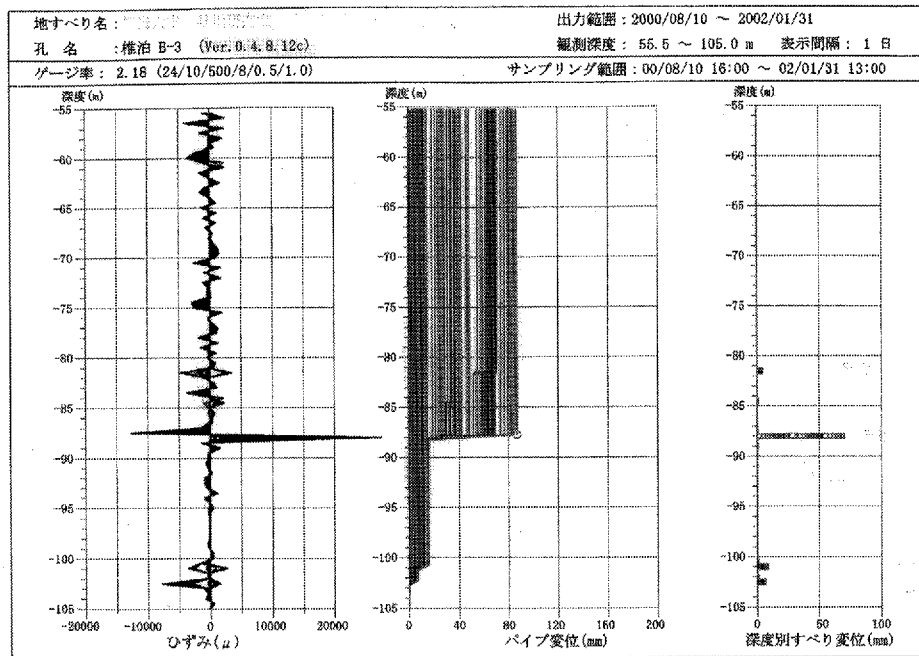


図2.6.32 すべり変位量（移動量）の解析結果

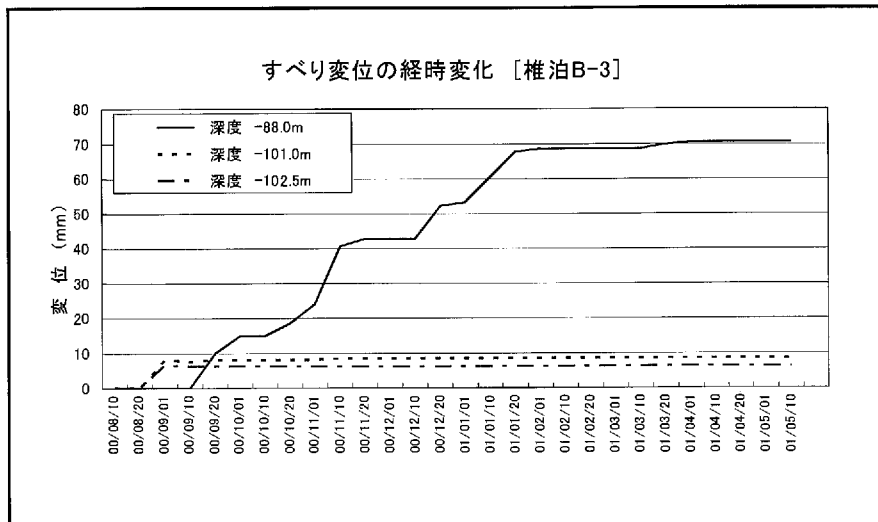


図2.6.33 すべり変位量（移動量）の経時変化

引用文献

- 1) 湊元光春(1957): 枳ヶ原地帯におけるり面の測定、地すべり研究、No. 1、pp. 37~42
- 2) 湊元光春(1959): 地下水移動観測に於ける一、二の問題と地すべり地塊の移動順序、地すべり研究、No. 3、pp. 53~62
- 3) 湊元光春(1963): 第三紀層型地すべりの地下内部構造と変形の様相について、新砂防、No. 48、pp. 21~27
- 4) 湊元光春(1964): 地下水変化と地下内部変形の様相について、地すべり研究、No. 8、pp. 35~54
- 5) 高田雄次(1967): ひずみ計の解析について、地すべり研究、No. 11、pp. 105~115
- 6) 山口真一(1971): 地すべり調査と対策講座Ⅱ、地すべり面の性格とその調査法、全国地すべり対策協議会
- 7) 中村浩之、近藤政司、白石一夫(1969): 地中ひずみ計による地すべり面判定の一考察、地すべり、Vol. 6、No. 1、pp. 1~9
- 8) 山口真一(1972): パイプひずみ計により地すべり土塊の変形の姿を求める方法について、地すべり、Vol. 8、No. 4、pp. 8~11

- 9) 小島義隆 外(1992):パイプひずみ計による地すべり挙動の解析法、地すべり学会研究発表講演集、No. 32
pp. 209～212
- 10) 早川嘉一、相田忠明、佐々木友和(2002):変位解析法に基づくすべり変位の定量解析、地すべり、Vol. 39、
No. 2、pp. 75～83
- 11) 早川嘉一(2002):特許申請「地すべり層変位の定量測定法」、2006年特許受理
- 12) 早川嘉一 外(2003):ひずみ変位計によるすべり面変位の動態観測、地すべり学会研究発表講演集、No. 42、
pp. 409～410
- 13) 早川嘉一(2003):すべり面のせん断変位測定システムの開発と応用、地すべり学会新潟支部シンポジウム
演集