



土を測る—現場計測と施工管理—

2. 計測機器の手法

すが 原 のり あき
菅 原 紀 明*

2.1 計測機器の概要

2.1.1 観測項目と計測機器の概要

土および岩盤の工学的分野で計測機器が利用される問題は限りなく多いが、一般に測定される項目はそれほど多くない。せん断強さ、圧縮性、原位置応力のような地盤の工学的性質に関する野外の調査を除くと、観測項目としては荷重、圧力(応力)、直線・角度変位および加速度に整理される。これを実際的な内容で表すと、

- 自然地盤、盛土、構造物境界面の間隙水圧
- 構造物の局部の応力、ひずみ、荷重
- 土と構造物の接触面に作用する土圧
- 構造物の鉛直・水平変位と地盤の変形

にまとめられる。このほかに補助的な計測項目として、温度、流量、振動 etc. のようなものがある。本文では、土に関する観測項目のうち、図—2.1 に示す三つの項目に絞り、それぞれの計測機器の原理と特徴について表—2.1、2.2、2.3 に示した。以下に各項目の測定機器の概要について説明する。

2.1.2 主な計測機器

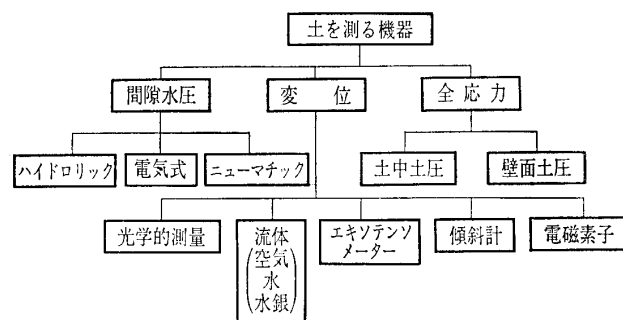
(1) 間隙水圧計

現場で使用する間隙水圧計の選択にあたって考慮すべき基本的条件は、次の4点である。

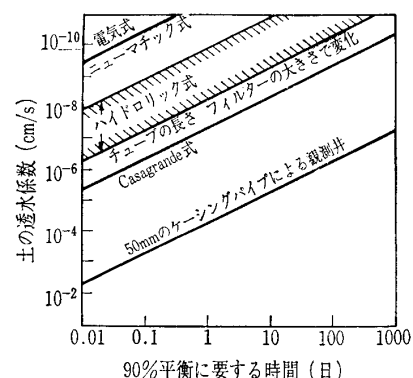
- ① 動的な観測か静的な観測か
- ② 許容されるタイムラグ
- ③ 観測期間
- ④ 対象土層の間隙水の性質と土層の飽和度

i) 動的な間隙水圧測定 地震時のような極めて短時間で、大きな圧力変化を伴う間隙水圧の測定においては、電気式間隙水圧計が最も適している。動的な間隙水圧を正しく求めるためには、フィルターからダイアフラムまでの水で満たされる部分が完全に飽和され、小さな気泡も含まれてはならないことと、ダイアフラムのたわみが極力小さくなるような圧力変換部を採用することが望ましい。

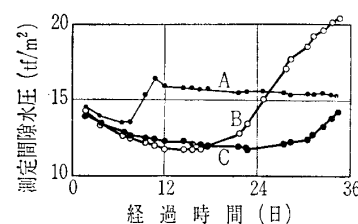
ii) 許容されるタイムラグ 計器がほとんど完全に間隙水圧の変化に追従するのに要する時間をタイムラグ(time lag)と定義する。このタイムラグは計器の中に応答が起こるのに必要な流量、土の透水性、および透水性のチ



図—2.1 現場計測機器の分類



図—2.2 各種間隙水圧計のタイムラグ



図—2.3 同一プローブの間隙水圧経時変化 (E. DiBagio 1977)

ップを取り巻いているフィルターの寸法によって決まる。地盤の正確な間隙水圧変化量の90%追従するのに要する時間(90%平衡時間)を各種の間隙水圧計について概略まとめると図—2.2 に示すとおりである。通常の粘性土地盤の静的な間隙水圧測定においては、表—2.1 に示した機器では、90%平衡時間は1日以下である。

ii) 長期観測 長期間土中に機器を埋設する場合、機材の腐食および漏水、土中の溶解ガスの侵入が生じて、観測値が奇妙な値を示すことが多い。図—2.3は N.G.I.

*株式会社地質調査事務所 東京事務所 技術部(土質担当)部長

講座

表—2.1 間隙水圧測定機器の種類と特徴

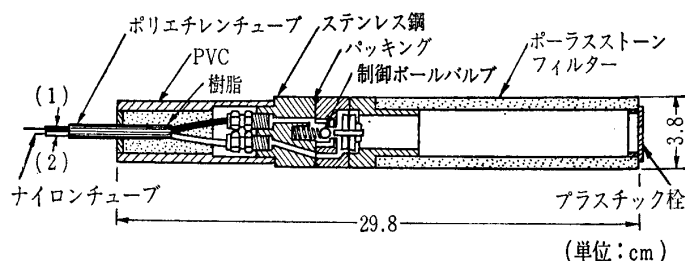
	分 類	特徴的センサー	原 理 と 特 徴		
①	電気式	ひずみゲージ 半導体ゲージ 差動トランス しゅう動抵抗	短期測定、動的測定に適する。計器の設置時にゼロシフトする場合がある。電線ケーブルからの漏電で破損しやすい。		
②	ニューマチック式	圧力平衡弁	電気回路を使用しない。寒冷地に有効。感度0.01m	長期測定に用いるためには、空気侵入値の高い非金属性のフィルターを用い、プローブ内の間隙水は脱気する必要がある。ガスの多い地盤、不飽和地盤には適さない。	
③	振動弦式	振動弦	遠隔計測に優れ、長期安定、温度補正に優れている。		
④	BAT式	間隙水圧測定 プローブ	ガラスフィルター、プラスチックマウント、ステンレスノズルからなる先端部を地中に埋設し、間隙水圧の測定は、地表面から降ろしたプローブで検出する。埋設部品が安価で、故障が少ない。自動化不可		
⑤	キャサグランデ式	水位測定器	汎用性が高く、最も安価で丈夫なピエゾメーター。ガス発生地盤では少し高い値を示す。粘土地盤では約10時間以上のタイムラグがある。自動化不可		
⑥	ハイドロリック式 (ツインチューブ式)	ブルドン管圧力計 or マノメーター その他の圧力変換器	フィルターを通して侵入したガスを随時除去するために2本のチューブを備えている。長期間の測定に最適。地表面で-0.6 kgf/cm²以下の値は測定が不可能		

表—2.2 土圧の計測方法とその特徴

	土圧の求め方		計 測 方 式		原 理 と 特 徴
①	間 接 法	構造材料 の変形解 析	ひずみ計 変位計 傾斜計		鋼矢板、鋼管、鉄筋などの弾性係数の明確な材料のひずみの変化、曲げ変形から、微分を行って、構造物に作用する応力を解析的にもとめる。
②	直 接 法	全土圧荷 重の実測	ロードセル 油圧計		支保工、切ばり、擁壁裏面のパネルに作用する荷重を直接荷重として実測する。
③	土中埋設用土圧計	壁面土圧計	平衡型土圧計	直接作動型 間接作動型	ひずみゲージ カーボン しゅう動抵抗 差動トランス 振動弦
		土中土圧計	判別型土圧計	ニューマチック式	土圧に応じて生じた受圧板の変位またはひずみを変換器で計測して土圧を求める方法。直接作動型は受圧板のひずみを直接求める方式の計器で、間接作動型は受圧板の圧力を流体で2次的に受けて、圧力を検出し、受圧板のひずみを極力小さくした計器
					受圧面に作用する土圧に釣り合うための流体圧（空気および油）を受圧器外から受圧板の裏面に作用させることによって土圧を計測する。受圧板のひずみを極力小さくでき、電気回路を一切使用しないものもあるので、耐久性に優れている。

(Norwegian Geotechnical Institute) が海成粘土の同一深度に数m離して埋設した、振動弦式間隙水圧計の観測記録である。3か所の測定値はほとんど同じ間隙水圧を示すはずであるが、各プローブは別々の日に奇妙な間隙水圧の上昇を示している。この後、3本のプローブを引き抜いて圧力変換器の検定を行ったところ、3本ともに同一の検定結果を示した。この異常値を示した原因を追求したところ、ステンレス鋼のプローブと鋼製のプローブ押し込み用ロッドの接触部に海水を媒介とした異種金属電池作用を生じ、それによって発生する水素ガスが、プローブ内に侵入して異常値を生じたものであることが分かった。このように、使用する機器に生ずる間隙水を媒体とする電池作用が、奇妙な測定値を示すことがたびたびある。そこで最近の間隙水圧プローブは、非金属性の材料で作られる傾向にある(図—2.4 参照)。

そのほかに、土が水で飽和している場合でも、水中に溶解または遊離しているガスや、地盤から発生する有機ガスがプローブのフィルターを通して集まる場合がある。このようなガスの侵入に対する対策は、空気侵入値(Air Entry



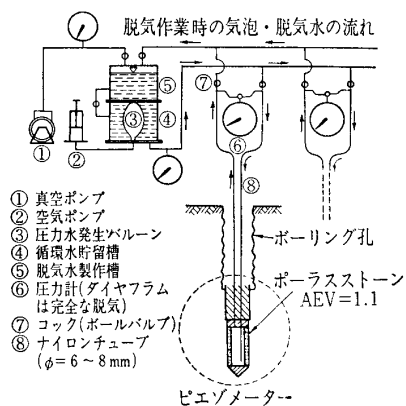
図—2.4 非金属フィルターを用いたニューマチック式の間隙水圧計（電気回路は全くない）

Value) の高いフィルターを完全に飽和して埋設する方法と、侵入したガスを測定時に随時除く方法がある。後者は、図—2.5 に示すシステムを有するハイドロリック式の間隙水圧計に適用されている。フィルダムまたは不飽和盛土の中の間隙水圧の測定においては、このハイドロリック式が最も適している。

非金属性のフィルターを用い、少々ガスの侵入があっても、とくに奇妙な測定値を示さない計器として一般に多用されている間隙水圧計は、図—2.6 に示すキャサグランデ式間隙水圧計である。ガス侵入値の程度に応じて、実測

表—2.3 変位測定機器

鉛 直 変 位 の 計 測 機 器 (沈下計)			主 として 水 平 変 位 の 計 測 機 器			
測定方法の分類		測定機器の名称	原 理 と 特 徴	測定内容	測定機器	原 理 と 特 徴
直 接 法 ま た は 近 接 法	レベル測量	地表面型沈下計	とくに精密測量に努力しない場合は2 ～ 3 mmの測定精度となる。	距離の測定 (エクステン ソメーター)	一般の巻尺による測 定	地表面変位杭の変位を直接測定軟弱地 盤のような大きな変位に適用
		深層型沈下計				
	アンカー式	差動式沈下計	沈下しない深層部と地表の相対沈下を 標尺で求める。		地表面伸縮計	インバール線を2点間に張りわたし、 1/10mm精度で自記記録する。き裂の 明確な地すべりの観測に適用
		連続式沈下計	深層部にロッドを固定し、そのロッド と地表面の相対沈下を電氣的に測定			
		おもり・ワイヤー沈 下計	深層部にワイヤーをつけたおもりを降 ろし、ワイヤーの巻き取り長を沈下量 とする。		テープエクステンソ メーター	構造物、岩盤などの変位量の比較的 小さな場合に適用。特別に精巧な定点 を設けて、その間を 1/100mm の高精度 で測定する。
		地盤沈下用観測井	単管式と二重管式がある。	ロッドエクステンソ メーター		
	多点式	クロスアーム式沈下 計	ダムなどの盛土材料の各層別圧縮量を 求める。	傾斜の測定 (傾斜計)	下げ振り	地表面および構造物の角度変化を簡易 に検知する。
		沈下素子式沈下計	沈下素子として、鋼、磁石、ラジオア イソトープなどがあり、ボーリング孔 壁に固定するプローブを挿入して素子 を検知する。		浮き式変位計 プライムライン	垂直に埋め込んだパイプの小さな曲が りを測定したり、コンクリートダムの たわみ量を測定する。
		アンカーワイヤー・ 多重管による層別沈 下計	ボーリング孔壁に固定したアンカー部 の相対変位をワイヤー、または管の上 端部の動きで測定する。		気泡管式傾斜計	角度 1 秒の測定精度を有する。地表面 に設置する。
遠 隔 法	連通管式	水盛式または連通管 式沈下計	建築物の小さな沈下、道路、鉄道、タ ンクなどの微少の沈下を連通管の原理 を利用して、遠隔測定する	ひずみの測 定	パイプひずみ計	PVCパイプに抵抗線ひずみゲージを 等間隔に張りつけ、地中の水平変位を パイプひずみ量から求める。主に地す べり面の検知用。耐久性が悪い。
	水圧式	水圧式沈下計	基準水槽と測定点の相対沈下を水圧計 で検出する。			
水平管の鉛直変位の 測定		水平傾斜計	沈下面に溝付ケーシングを布設し、そ のケーシングのたわみを挿入型水平傾 斜計で測定		埋込み式地盤 ひずみ計	差動トランス、振動弦を用いた高精度 の地盤・構造物のひずみを求める。

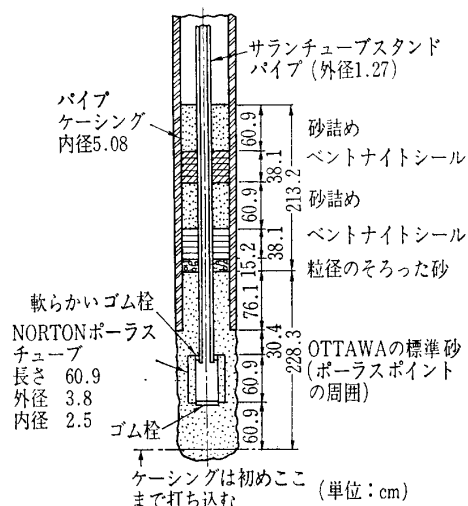


図—2.5 ハイドロリック式間隙水圧計の計測システム

値は少し高い値を示すといわれているが、約1日程度のタイムラグを許す場合には、最も問題の生じない計器である。

(2) 土圧計

土圧の測定は、擁壁、カルバートなどの比較的剛な構造物に作用する土圧、矢板などのたわみやすい構造物に作用する土圧、盛土内部および自然地盤の土中土圧に分けて考えることができる。①比較的剛な壁に作用する土圧は、構造物の部材に発生するひずみの計測値から解析的に求めるほかに、壁面土圧計で直接求めることができる。②たわみの大きな壁の場合は、壁のたわみ分布およびひずみ分布を



図—2.6 キャサグランデ式間隙水圧計の構造

明らかにして、その微分値に壁の弾性係数を乗じて土圧を求める方法と、切ばりに作用する荷重を荷重計で直接求めて、最も信頼性の高い土圧を得る方法とがある。③盛土内部の土圧および自然地盤の土圧は土中土圧計で計測する。

i) 壁面土圧計 剛性の高い構造物の壁面に作用する土圧の場合は、土圧計の受圧面が構造物の壁面の状態をできるだけ代表させた状態(壁面と同一面で同じ剛性)にな

講 座

表-2.4 壁面土圧計の種類と特徴

土圧計の種類	特 徴
ゴールドバック型	判別型の土圧計として歴史的なもの。振動土圧の計測。自記化に不適
ひずみゲージ型	形状、容量に種類が多い。振動土圧の計測可能。耐久性がやや悪い。
カーソン型	比較的安定性がよい。受圧面の変位を小さくした間接作動型が普及。温度補正可能
しゅう動抵抗型	受圧面の変位大。大型盤。電気的に単純で安定。振動に弱い。
差動トランス型	衝撃に強く、振動土圧の測定可能、比較的丈夫
振動弦型	野外の耐久性が大。比較的ゆっくり応答するので動的測定に不適

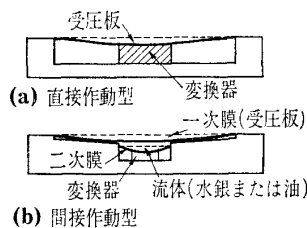
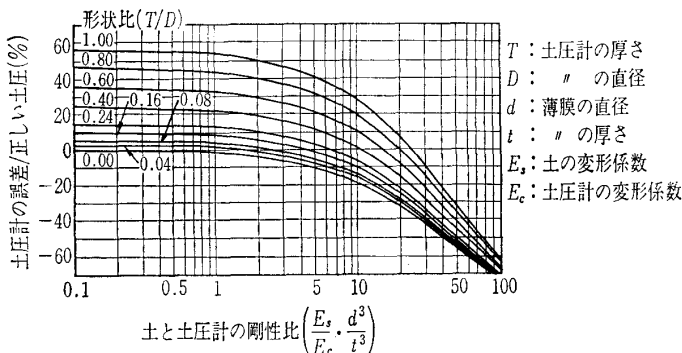


図-2.7 受圧板の作動の説明図

図-2.8 土圧計の誤差とその要因の関係
(Tory and Sparrow 1967)

っていることが理想であるが、通常は受圧面の変位が構造物の変位より大きい場合が多い。受圧面の変位を小さくするために、図-2.7(a)に示す直接作動型のものより、(b)に示す間接作動型の土圧計が利用されつつある。主な壁面土圧計の特徴を表-2.4に示した。

ii) 土中土圧計 土は液体と異なり粒状体であるので、少量のひずみを与えると応力状態が変化する。土圧計の挿入または埋設作業が土にひずみを与え、応力状態をかえるので、正しい土圧を計測するための研究が盛んである。Tory and Sparrow (トリーとスパーロー)の研究によれば、正しい土圧とその誤差の割合は土圧計の形状比と剛性比に関係があり、図-2.8に示す関係図を提案している。誤差の少ない土圧を求めるためには、土圧計の形状に関しては、直径に対する厚さの比をできる限り小さくすること、また、土に対する土圧計の相対剛度 E_s/E_c (ここで、 E_s :土の変形係数、 E_c :土圧計の変形係数)をできるだけ小さくする必要がある。このような条件をできるだけ満足し、測定誤

差の少ない土中土圧計として設計され、普及しつつあるのが、図-2.9に示す間接作動型の全土圧計と図-2.10に示す判別型のニューマチック式全土圧計である。前者は主として軟弱地盤の横方向の全土圧を、後者は盛土内部の全土圧計測に適するものである。

(3) 変位測定機器

地盤の変位測定機器は主に沈下計、エクステンソメータ

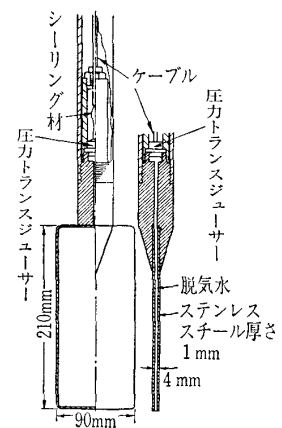


図-2.9 間接作動型全土圧計

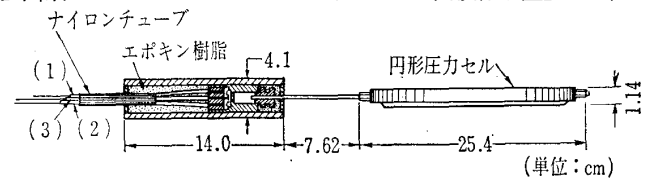


図-2.10 ニューマチック式全土圧計

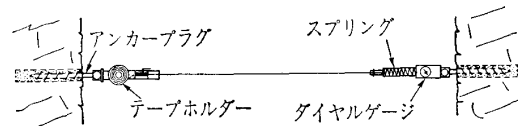


図-2.11 テープ・エクステンソメータによる距離の測定

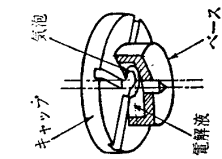
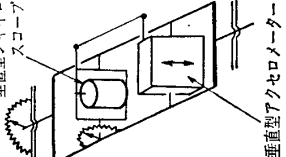
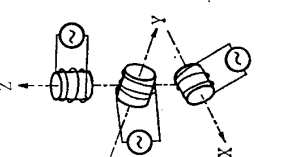
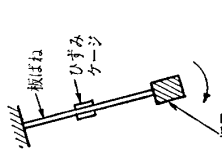
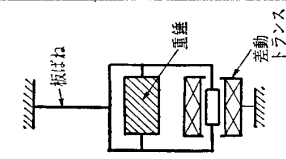
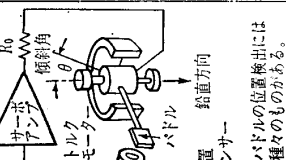
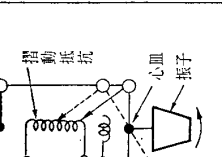
一、傾斜計、地盤ひずみ計に大別される。沈下計についてはほかの文献¹⁾にゆずり、そのほかの機器について述べる。

i) エクステンソメータ (Extensometer) トンネルおよび構造物の中の2点間の距離変化を高い精度(1/100 mm)で求める目的でテープエクステンソメータが開発された。測定にあたっては、ボールアンカープラグを測点に埋込み、二つのプラグの距離を測定するが、測定時にはテープの張力をプルービングリングでモニターし、常に一定の張力で距離を計る。距離は5 cm 間隔にパンチされたテープをテープホルダーに固定し、張力を調整後、スティールテープの読みに、ダイヤルゲージの読みを加えて求める(図-2.11参照)。この機器を用いて2点間の距離の変化を経時的に測定することにより、地盤または構造物の変状経過を精度よく求めることが可能である。

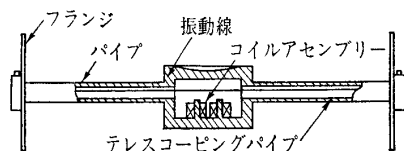
ii) 傾斜計 (Inclinometer) 地中の変形分布を線状に結合して測定する機器として挿入型傾斜計が多用されている。これまで開発された傾斜計のセンサーを一覧すると表-2.5に示すように多くのものがある。この中で、計測レンジが広く、分解能の高いセンサーはサーボアクセルメータ式のセンサーである。このセンサーを用いた傾斜計の計測結果は、そのほかのものとは比べて比較的納得できるものとなり、測定値より得た地中変位の解釈に苦慮することはほとんどなくなった。

サーボ型の傾斜角の計測機構は振子が加速度を受けてわずかに変位すると、内部に組み込まれた変位計がその変位

表-2.5 傾斜計センサー一覧表 (三浦風図)

形 式	非 振 子 型			振 子 型			交 差 振 子 式
	気 池 式	ジ ャ イ ロ 式	磁 気 式	差 動 ト ラ ン ス 式	サ ー ボ ア ク セ ロ メ ー タ 式	ポ テ シ ョ ン メ ー タ 式	
原 理	 キャップ 気池 ベース 電解液	 垂直型ジャイロスコープ		 板ばね ひずみ ケージ 振子	 傾斜角 トルク モーター バドル 位置 センサー	 振動抵抗 心皿 振子	 重り コイル コア ケース 交差ばね
	電解液中の泡の移動による抵抗変化を測定する。	ジャイロコンパスにより重力方向との振れ角度を測定する。	磁性体に交差磁界を加え、地球磁場との振れ角度を測定する。	傾斜による振子の位置を差動トランスで検出する。	振子の位置検出でトルクモータをフィードバック制御させ、その量から傾斜角を知る。	ポテンションメーターの抵抗値変化を測定する。	たすき掛けで支持された振子の変位を幾何学的に拡大させ、差動トランスで測定する。
計 測 能 力	±200秒	60度	360度	±5度～±10度	±30度	±45度	±1/10秒
	1/1000秒	6分	1度	6分	0.1秒	30分	1/1000秒
長 所	1) 超高精度 2) 安定度が良い 3) センサーで2方向出力が同時に得られる。	1) 高信頼度 2) 外部磁界の影響を受けない 3) 角度レンジが広い	1) 全方位の測定範囲を有する。 2) 全て電気系であるためじょうぶである。 3) 応答性が良い	1) 構造が単純で安価である。 2) 温度補償が容易である。 3) 出力電圧が高い。	1) 広範囲のレンジで高精度である。 2) 比較的小型である。 3) 直線性が良い。 4) 応答性が良い。	1) 構造が単純で安価である。 2) 温度特性が良い。 3) 安定性が良い。 4) じょうぶである。	1) 超高分解能。 2) 応答性が良い。
	1) 高価で測定器も複雑。 2) レンジが小さい。 3) 直径が大きい (50 cm) 4) 応答が悪い	1) 短寿命である。 2) 小電力とならない。 3) 高価である。	1) 長期安定性に欠く。 2) 周囲の磁気異常に敏感である。	1) 安定性、再現性に欠く。 2) 出力のひずみ量を換算する必要がある。	1) センサー内にサージ抑制素子があるため複雑となる。 2) 高価である。 3) 温度特性が方式によっても異なることがある。 4) ウォーミングアップを要する。	1) 分解能が悪い。 2) 振動ノイズが発生する。 (接触型滑動子の場合)	1) 測定器が高価となる。 2) 温度・湿度変化に弱い。 3) レンジが小さく、直線性が悪い。
短 所							

講 座



図—2.12 振動弦式地盤ひずみ計

量を検出するとともに、その変位量に応じた電圧がフィードバックコイルに作用し、振子を中立位置に引き戻そうとする。その時の電圧が振子に作用する加速度と比例するので、その電圧を出力信号として取り出す構造となっている。したがって、機械的な可動部分がないので、ほかと比べて分解能が優れているという特徴がある。

ii) 地盤ひずみ計 (Soil strainmeter) 盛土内部またはコンクリートの局部的ひずみは、図—2.12に示す地盤ひずみ計を埋め込んで計測される。計測センサーには図—2.12に示す振動弦式のほかにひずみゲージ、差動トランスがあるが、前者よりも後者のセンサーが耐久性に優れている。

2.1.3 新しい計測機器の紹介

最近開発された計測機器の動向として特徴的なことは、

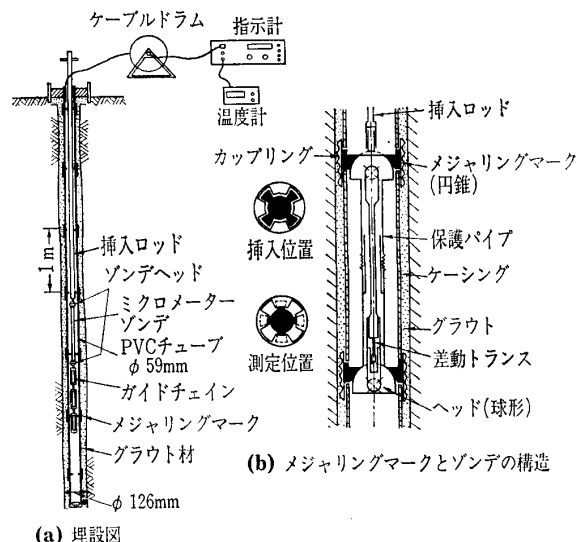
- ① 地中に埋設する機材は、電気的な回路を含まず、腐食の心配の少ない安価で堅牢なものとする。
- ② 1本のボーリング孔を利用して多点の測定をしかも中断なく計測する。これを線状結合測定 (Line-wise measuring) と呼ぶ。
- ③ 測定点の計測は高精度のプロープまたはゾンデを挿入することによって行う。

などがあげられる。このような特徴を有する計測機は、自動計測システム化のしにくいものである。しかし、土および水の挙動が、地震時を除いて、比較的緩慢であることと、経時的に連続性を有する性質があることから、上述の特徴的な計器が普及しつつある。

- (1) スライディングマイクロメーターによる地盤およびコンクリート構造物のひずみ計測

スライディングマイクロメーター (Sliding micrometer, 以後 SL メーターと略記する) は、スイスのチューリッヒ工科大学岩盤力学研究所教授 Dr. K. Kovari (コバリ) が開発した高精度地中変位計である。この計測システムは、最大測定長 100m の孔軸方向の変位を 1 m ごとにかつ連続的に高精度 (0.001 mm) で測定が可能である。測定孔は鉛直、傾斜、水平のどちらの方向でも可能である。また測定対象物は、地盤の変形にとどまらず、場所打ち杭、土留め壁、擁壁の変形にも拡大される。以下に、ボーリング孔に挿入して地盤の沈下を測定する場合について説明を行う。

i) 測定原理 長さ 1 m 間隔に測定端子 (Measuring Mark, 以後 M マークと略す) を半固定した、直径 60 mm の P.V.C. 管を孔底まで挿入し、孔壁と管の外壁の間を周



(a) 埋設図

図—2.13 スライディングマイクロメーターの測定系と構造

辺の地盤の変形係数、強度に近似したセメントミルクで充てんし、M マークを地山に固定する (図—2.13(a)参照)。地山にひずみが生ずると M マークの間も変化するので、その間隔の変化を地表より挿入した SL プロープで正確に測定する。各 M マーク間の長さの変化量を Δl_i とすると、この累積値 $\sum_{i=1}^n \Delta l_i$ が地表面の沈下量を示し、 Δl_i は各深度の圧縮量または膨張量を示す。

ii) 測定方法とその特徴 鋼製の M マークは、管の継手の役目と地盤との固定環の役目の二つの機能を果たす。M マークの内壁は図—2.13(b)に示すように正確な円錐面に加工され、一方ゾンデの両端のヘッドは球面に加工されている。この二つの面が接すると、球面の中心位置は円錐面に対して一定の位置に保持されるので、測定の基準点は各々の M マークについて一義的に定まることになる。

測定点の距離を測定するゾンデの構造は、図—2.13(b)に示すようにスプリング連結した保護管と、インパル鋼で加工された内管および差動トランスで構成される。ゾンデの内管の長さは上下の M マークの距離よりも少し短く、はじめに下端の M マークと下端のヘッドを圧接し、保護管のスプリングを延ばして上部の M マークと上端のヘッドを圧接する。この両方の M マークにヘッドを押しつけた状態で M マークの距離を計る。ゾンデを 45° 回転させると M マークとゾンデのヘッドの圧接がはずれ、次の測定位置にゾンデを移動する。このようにして測定長 1 m ごとの長さの変化を計測し、正負のひずみの分布を線状に結んで求めることができる。堅牢で安価な部材を埋設し、単純な測定操作を繰返して、極めて精度の高い ($10^{-6}/\text{m}$ のひずみ精度) 測定が可能である。

ii) 応用例 ボーリング孔壁の確保が可能ならば、どの方向の地盤のひずみ分布をも明らかにできるほか、図—2.14に示すように場所打ち杭、土留め壁、擁壁、トンネルの周辺地盤の挙動を明らかにすることが可能である。図—

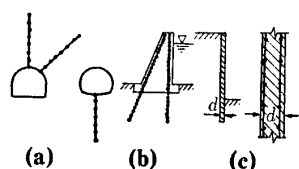
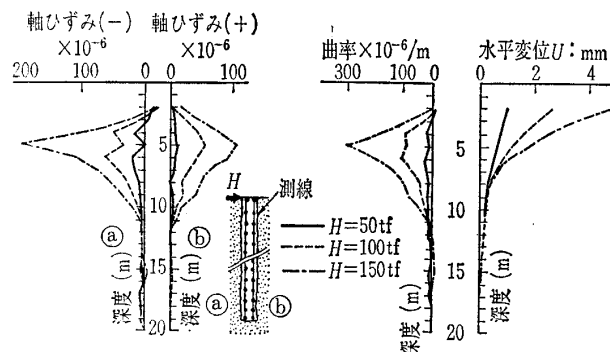


図-2.14 スライディングマイクロメーターの適用範囲

図-2.15 水平载荷杭の軸ひずみ、曲率、水平変位
(K. Kovari and C. Amstad 1982)

2. 15は2本の測線を場所打ち杭の中に設置し、水平方向に载荷したときの杭の挙動をSLメーターで計測した軸方向のひずみ分布から、曲げひずみおよび水平変位を求めた図である。

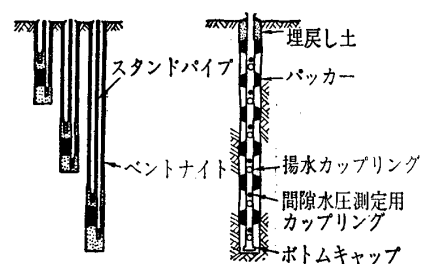
(2) MP (Multiple port piezometer) システムによる地下水の長期監視システム

カナダの Dr. F.D. Patton は軟岩および岩盤を対象として1本のボーリング孔中に多点の観測点を設け、地盤の間隙水圧測定、地下水の採取、透水係数の測定を長期間実施できる観測システムを開発し、既に、5年以上にわたりカナダ、アメリカにおいて土木関係の調査や、鉱山開発調査に適用し成功している。MPシステムは調査というよりも地下水に関する長期間の監視システムとして注目されるものである。このシステムに加えて、同一孔で地中の変位を傾斜計を挿入して測定するCPI (Combined Piezometer-Inclinometer) システムも開発され、地すべりや斜面の安定問題に関しての監視システムとして利用されつつある。

i) MP システムの特徴 MP システムの特徴は、図-2.16(a)に示すスタンドパイプと異なり、1孔に最小1.5m間隔に多数の観測点を設けることが可能なことである。加えて、システム部材の材質、継手機構、測点間の止水操作が水質に変化を与えないように特別な工夫がなされている。

ii) MP システムの構造 このシステムはPVCケーシング、パッカーおよび3種類のカップリング（レギュラーカップリング、地下水観測用カップリング、揚水用カップリング）で構成される。これらの部品を組合せて連結し、1孔のボーリング孔に挿入する。

標準ケーシングは37mmの内径を有し、PVCを素材とする。各々のケーシングは、図-2.17に示すように1本の



(a) スタンドパイプ (b) MPシステム

図-2.16 スタンドパイプとMPシステムの比較

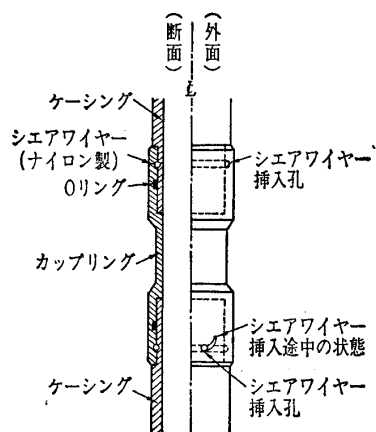


図-2.17 ケーシングの継ぎし構造

ナイロンワイヤーを両端の共通溝に巻き入れることによって継ぎ足され、接着剤は使用しない。地下水観測用カップリングは、測定時に開閉の可能なチェックバルブがついており、間隙水圧測定深度および採水深度に取り付け

る。止水はケミカルパッカーケーシングを用いて行う。このパッカー部は、一度流体を注入すると、流体が逆流しない構造となっている。一組のシステムを孔底に降ろした後、地表から挿入した注入プローブで孔底から地表に向かって順にパッカーを膨らませて、観測点間の止水とシステムの孔壁への固定を行う。

ii) 監視システム 測定は、すべて地表から降ろすプローブで行う。プローブの測定位置と方向を正確に制御するために、各カップリングに特殊な工夫がなされている。プローブの種類は、間隙水圧測定プローブ、地下水サンプリングプローブ、揚水プローブがある。地下水の採取においては、原位置の間隙水圧を維持した状態で地表に引き上げることのできるプローブも開発されている。

参考文献

- 1) 土質工学会編：土と基礎の沈下と変形の実態と予測，土質基礎工学ライブラリー18，pp. 59-117，1979.
- 2) 嶋津晃臣：土圧，間隙水圧の測定，土木施工，土木計測ハンドブック，山海堂，pp. 178-185，1981.
- 3) Thomas H. Hanna: Foundation Instrumentation, Trans Tech. Publications, 1973.
- 4) E. DiBiagio: Field Instrumentation-Geotechnical Tool, Norwegian Geotechnical Institute Publication, Oslo, No. 115, pp. 29-40, 1977.
- 5) W.A. Weiler and F.H. Kulhawy: Factors Affecting Stress Cell Measurements in Soil, ASCE, pp. 1529-1548, 1982.
- 6) K. Kovari and Ch, Amstad: A New method of measuring deformations in diaphragm walls and piles, Geotechnique, Vol. 22, No. 4, pp. 402-406, 1982.