

現場技術者のための土質工学—計器による現場測定のポイント (11)

講座

6. 土の沈下の測定 (その1)

「土と基礎」講座委員会

地盤の沈下はチュウ積平野などの軟弱地盤地帯などでいちじるしく、沈下の原因としては主としてつぎの二つの形態に分けられる。

一つは大量の地下水のくみ揚げなどに起因する広範囲の地域の沈下で、地盤沈下といわれる形態である。

もう一つは、軟弱地盤上に盛土などの構築物の荷重を加えることによって、その構築物およびその周辺が沈下する形態である。

その他、地スベリなどの土の流動にともなう沈下とか、地盤の掘削により地盤をゆるめ、これによる周辺部の沈下などがある。

地盤沈下の形態は、東京、大阪、尼ヶ崎など河口部のデルタ地帯に発展した大都市において顕著であり、最近ではこれらの都市に、隣接した都市および新たに造成された臨海工業地帯(千葉・川崎・横浜・名古屋・新潟など)の諸都市においてもいちじるしい。

地盤沈下の場合の沈下の測定は、観測点の標高の変動であり、その意味で絶対沈下量が問題となる。

盛土などの構築物の沈下の形態は、軟弱地盤の上に構築するものは、すべて大なり小なり沈下すると考えられ、この場合の測定は、構築物と周辺の沈下しない不動点との沈下差であり、その意味では相対沈下量が問題となる。

沈下機構の面から考えると、長期間にわたって沈下が継続する現象は、軟弱層から水が脱水して土が圧密するために発生する沈下が大部分である。

このような沈下がいつどれだけ発生するかは、圧密沈下の場合、事前に圧密計算を行なって推定しておくことができるが、その推定値は、土質調査の精度にもよるが、推定誤差が 40~200% ともいわれている。

圧密計算値のみを過信して工事を進めると、思わぬミスをおこすことになるので、工事の施工に当たっては沈下の測定を行ない、沈下の状況を把握しながら工事を進めるのが普通である。

沈下を測定することによって、盛土のスベリ破壊の徴候をつかみ盛土速度の制御などの管理の資料とすることもできる。

また施工後に有害な不同沈下を与えないように配慮したり、推定沈下量と大きく違う沈下量が測定されるようなときには、構築物の機能をそこなわないように、設計変更を前もって行なうこともある。

沈下を測定する方法の、基本的原理はいずれの場合も同様である。つまり沈下を測定しようとする観測点を設け、沈下しない不動点との差を経時的に測定するものである。

しかし沈下の具体的測定装置としては、不動点の設けにくい地盤沈下地帯の測定と、近くに不動点を簡単に設けられる、構築物の沈下測定とでは、計器の型式や測定手間、あるいは所要経費などかなりの差がある。

測定装置(計器)は多種多様のものが考案されていて 6.1.2 装置の種類 の項で紹介してあるが、測定目的と測定環境に応じた適切な計器を選択することが重要である。

また最近では、工事が機械化、スピード化していることや、何ごとにも省力化が要望されていることを考えると、将来はこうした要望にマッチした装置(計器)、つまり機械の稼働のじゃまにならない装置、あるいは測定手間のかからない装置が使用されることになるであろう。

なお建築物、橋りょうなどの構造物の沈下測定については第8章の「構造物の変位測定」述べるので、本章では主として地盤の沈下と盛土の沈下に限定して述べる。

6.1 測定計画

測定計画をたてるときに、まずその測定の目的を明らかにしておくことが重要であることはいうまでもない。

測定目的と精度の関係を考えると、地盤沈下の測定の場合は、年間数ミリの測定精度を要求される。道路盛土の施工管理を目的とする場合は1日数ミリの誤差はとくに支障とならない。

要求される精度に応じて適切な装置(計器)の選定、ひいては測定計画自体も異なってくる。

測定目的によって、不動点のとり方がどのように違ってくるか一例として比較してみよう。

i) 地盤沈下を測定する観測井を設置する場合、不動

講 座

点として、基準鉄管を設置し、この基準鉄管の抜け上り量で沈下量を測定する。この基準鉄管の管底を洪積層の上部に固定すると、それより浅い層（チュウ積層）の収縮量を測定することになり管底以深の地層（洪積層）の圧縮量が測定値に含まれてなくなる。洪積層の沈下が無視できない時には、管底は洪積層の下部または第三紀層上部に固定する必要がある、管長が数百メートルに達することもある。

ii) 軟弱地盤上の盛土の沈下測定の場合で、連続式沈下計を用いるときの不動点として、アンカーロッドを用いるが、その固定深さはチュウ積層下端で十分である。これは築堤盛土のような帯状荷重では洪積層の沈下はほとんど無視できるからである。

iii) 特殊な例では、不動点のアンカーロッドを2 m程度にすることもある。舗装体の各層（表層、路盤、路床）の交通荷重による収縮量を測定目的とするときは、路床下1 m程度の所に管底を固定すれば十分測定目的をはたすことになる。

以上の例でもわかるように、測定目的によって、観測地点の選定、装置の種類、観測地点の配置などが大きく変わってくるので、測定計画をたてるに当たってまず測定目的を明らかにしておくことが重要である。

6.1.1 観測地点の選定

観測地点の選定は、測定対象物、その規模および重要性によって変わってくるが、注意すべき事項としては共通することが多い。

(1) 地盤沈下と観測地点の選定

広範囲の面積の沈下傾向を知る必要があるから、観測地点を網目状に配置させるのが原則である。

また地盤沈下の測定はその原因調査も主要な目的となるので、大量の地下水を吸み上げる工場密集地などを中心にそこからの距離に比例して、観測地点を配置することも必要である。重要な地点、たとえば洪水災害時に大きな被害の予想される、ゼロメートル地帯については、密な観測地点を設定する必要がある。

いずれの場合にも、選定する観測地点はその地区を代表する地点でなくてはならないことは、いうまでもない。したがって、観測地点の選定にはつぎのことに注意する必要がある。

(i) 地盤沈下以外の沈下要素を含ませないために、新しい盛土や重量構築物が近接していたり、将来その計画がある所は避けなければならない。

(ii) 交通量の多い道路わきもつとめて避け、社寺、学校、公園などの敷地内に設定すると良い。

(iii) 設置後、観測するときに発見が容易であり、また空中写真に明りょうに撮影しうる場所が望ましい。

(2) 港湾・干拓地堤防の沈下と観測地点の選定

海岸堤防のように帯状の構造物を対象とするときは、まず地盤条件のもっとも悪い地点を選定する。地盤条件がほぼ一様であるときは、300～100 m 間隔に1ヶ所程度で配置すれば良い。

また多くの場合、海浜は地盤沈下の現象が生じているので、不動点を設ける必要がある。不動点は公共水準点（一・二等水準点）を利用するか、あるいは300～1000 mに1ヶ所の割で、補助水準点を設ける。

水準点の設置場所については、前に述べた事項と同様の注意を払う必要がある。

海中に不動点をとらなければならないときには、風波の影響の少ない地点を選定する。

(3) 鉄道または道路盛土の沈下と観測地点の選定

河川堤防の後背湿地や、おぼれ谷地区を、鉄道または道路が盛土で横断する場合について考える。

高い盛土となる地点と、軟弱地盤の深い地点をまず観測地点として選定する。

こうした地域は、地盤条件が急変するので代表的地点を選ぶのはむずかしく、沈下量の大きい所とか、盛土のスベリ破壊の可能性のある所を選定し、盛土施工の管理のチェックポイントとする必要がある。

通常100～300 m程度の、盛土工事の一作業延長（橋りょうまたは横断構造物には含まれる一盛土ブロック）に1ヶ所選定すれば良い。

特殊な測定目的として、橋台部と裏込め部の不同沈下を測定するため、橋台付近に観測点を選定したり、基礎地盤処理工法の変化する地点でその比較のために観測点を設ける場合などがある。

以上の場合盛土の中心部に観測点を選定するが、つぎの場合には、路肩部、ノリ尻部、あるいは盛土外の周辺地盤に観測点をおくときもある。

- i) 沈下した土量を推定したい場合
- ii) 横断構造物の上げ越し量を推定したい場合
- iii) スベリ破壊の前徴を推定したい場合
- iv) 盛土敷より外の周辺地盤に与える影響を推定したい場合

またこうした内陸部では、一般に地盤沈下の現象は発生していないので、不動点は盛土敷から30～50 m程度離れた適当な地点を選ぶは、簡単に設置できる。

6.1.2 沈下量測定装置の種類

沈下を測定する装置（計器）には多種多様なものがあり、実用化されているもので、十数種になる。

しかし、どの装置でも、その測定原理にはとくに変わりはない。すなわち、沈下を起こさない不動点と、土の沈下にもなって変位する測定点とから成り、この変位量を連結部をとおして測定部で計り、両者の高低差をもって沈下量とする。

沈下測定装置を、測定対象別に区分し、比較的良く用いられているものを紹介する。

(1) 地盤沈下を測定する装置

(a) 水準測量

沈下の測定のもっとも基本的な手段といえる。後述する諸計器においても、測定手段として、レベルング作業（水準測量）によるものが多い。

地盤沈下を観測するとき、沈下量、沈下速度、沈下速度分布図、地盤高図などを求めるが、水準点網を設けこれらを定期的に水準測量することによって、把握することができる。

使用機器としては、レベル、標尺台、野帳などである。

(イ) レベル

一等水準測量においては、対物鏡の直径 45 ミリ以上、測微装置つきであり、水準器は感度 $10''/2\text{ mm}$ 以上の性能で合致式のものとする。二等水準測量においては、対物鏡の直径 38 ミリ以上、水準器感度は合致式では $20''/\text{mm}$ 、直視式では $10''/2\text{ mm}$ 以上の性能のものとする。

なお、二等水準測量に自動レベルを使用する場合は、最短視準距離において標尺、読取誤差は $\pm 0.4\text{ mm}$ 以内、10 m 以上の視準距離において整準誤差は $\pm 0.7\text{ mm}$ 以内で対物鏡の直径 38 mm 以上の性能をもつものとする。

(ロ) 標 尺

標尺はインバールテープ張りとし、一等水準測量においては両側目盛の精密水準標尺、二等水準測量においては、両側目盛または両側示数精密水準標尺を用いる。

(b) 観測井

これはボーリング孔などを利用して、孔底から不動点の基準鉄管をたてて、地盤の収縮にともなって生ずる鉄管の抜け上り量を測定する装置である。

基準鉄管の地中そう入深度をいろいろ変化させることによって、地盤沈下の層別の沈下量を求めることもある。観測井の構造は図-6.1 に示すように、基準鉄管となる内管とこれを保護する外管とより成っている。外管は内管を外側の土より絶縁させて自由に立たせる役目をしている。外管がないと、基準鉄管にネガティブフリクションが作用し、沈下量がかならずしも、抜け上り量として表われなくなることもありうる。

二重管構造にしても、外管には土圧およびネガティブフリクションが作用し、管自身がざ屈するか、あるいは上下に抜きでることになり、下方に抜け出ると内管はこの外管底面上にのっているから、ともに沈降し正確な測定ができない。これを防止するために管底部にスライド装置をつけたストレーナーを取付ける。このスライド装置は今後の予想沈下量を上まわる長さのクリアランスを

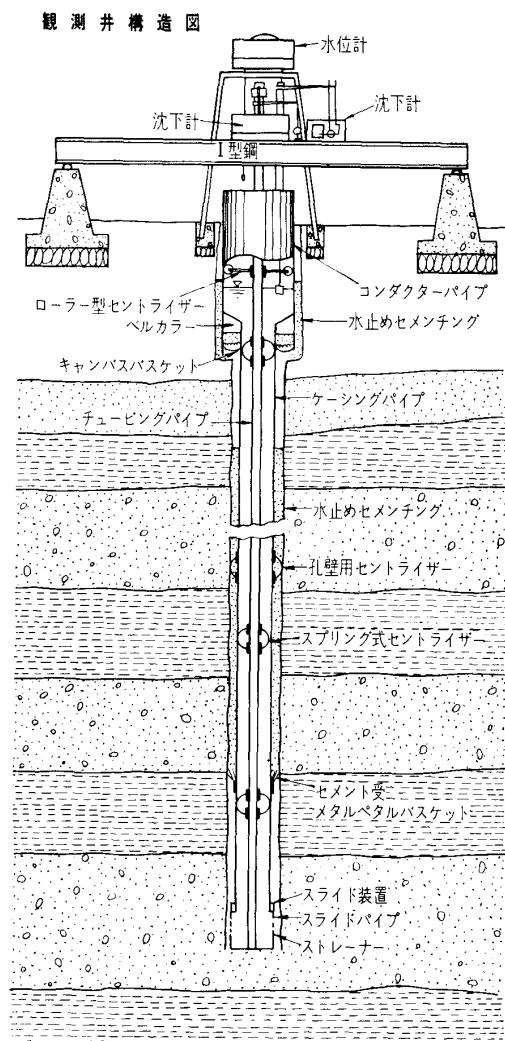


図-6.1 観 測 井

とおかなければならない。

ネガティブフリクションに対し、基準鉄管が十分に強く、また管底が、支持力の十分ある基盤に達しているときは、二重管にせず、単管構造にすることもある。

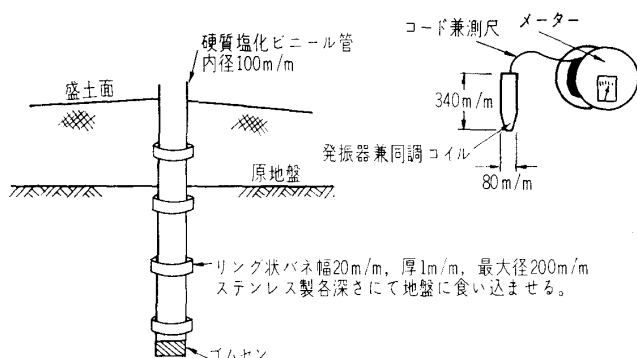
観測井の上部の構造は、コンクリート架台の上に I ビームを取り付けてあり、この I ビームと基準鉄管との沈下差を測定する測定部よりなっている。測定部は自記記録装置の方式から、基準点の目盛差をスケールで読み取る簡単なものである。

なお I ビームの長さは、基準鉄管と地盤との摩擦などの影響がおよばない所まで十分な距離をとるのが望ましいが、I ビームの自重と気温変化などのマイナスの影響も生じることも考慮する必要がある。東京都では $10\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 130\text{ mm}$ で長さ 5 m 程度の I ビームを使用している。

(2) 軟弱地盤上の盛土の沈下を測定する装置

(a) 沈下板（レベルング）

沈下板にロッドを溶接したものを、地表面または地中に設置し、ロッド先端をレベル測定して、盛土施工中および盛土終了後の沈下を測定する装置である。



圖—6.6 層別沈下計（電磁）

にリング状のステンレス製パネを地中に埋め込み、発信器と同調コイルよりなる検出器を管内に下げていくと、リング位置で感応し急激に発振周波数が変化し、回路電流が急変してメータが振れるので、リング位置が測定できる。

ラジオアイソトープを利用したものとしては、上記の電磁式と同様に、ステンレス製のリングのかわりにガンマ線源などを埋め込み、ガイガー計数管(G-M 管)を管内に下げていき、その線源位地の変動を測定する方法がある。

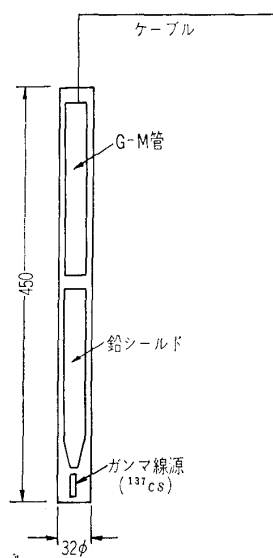


図-6.7 ガンマ線検出部

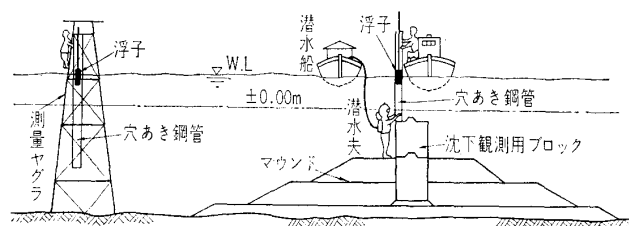
また、線源を埋め込まずに、たんにパイプ孔に、線源と G-M 管をセットした計器(図-6.7)を押入し、カウンターの分布図を比較して、各層の沈下量を求めることもできる。

(d) その他の沈下測定装置

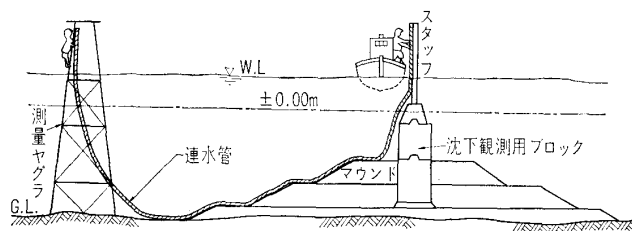
(イ) 浮子による沈下測定

海中の構造物の沈下の測定に利用される。図—6.8 に示すように、まず不動点と観測点に孔あき管をたてる。孔あき管には目盛のついた浮子を浮かせ、そして両地点でほぼ同時に管の上端における浮子の目盛を読みとる。

この方法は、波の影響を受けやすく、精度は劣る。しかし、測定距離が遠く、かつ障害物があって見通しのきかない場合には有効である。



図一6.8 浮子による方法



図一6.9 連通管による方法

(ロ) 連通管による沈下測定

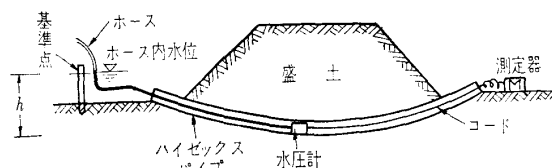
この方法は、近距離であるが障害物があって見通しがきかない場合に有効である。

海中の構造物の測定の一例を図-6.9 に示した。

精度がやや悪いことと、長距離間の測定には不向きである。

(ハ) 水圧計による沈下測定

盛土予定地に、塩化ビニールパイプをあらかじめ横断方向に設置し、別に感度の高い小型水圧計を用意する。パイプの一端から水圧計ピックアップを入れる。このピックアップに、水を満たした水管を連結し、その他端の水位を地上の基準点に合わせれば、ピックアップに作用する水管内の水圧は、基準点からピックアップまでの水位差を示すことになる（図-6.10）。



図—6.10 水圧計による方法

こうしてピックアップを移動させながらその水圧を測定していくことにより、盛土底面の沈下形状が測定される。

盛土の横断面に沿って連続的沈下が計れることや、盛土施工面に計器が突出しないなどの有利な面がある。

(二) 傾斜計による沈下測定

盛土中に設置したミホリセンパイプの変形を、水平傾斜計をそう入することにより推定して、各地点の沈下分布を知ろうとするものである(図-6.11)。

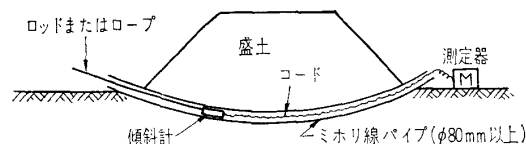


図-6.11 傾斜計による方法

(3) 盛土の各層の収縮沈下を測定する装置

(a) クロスアーム沈下装置

アースダムなどの築堤に当たって、盛土自体の各層の収縮沈下量を測定するときにクロスアーム沈下装置が用いられている。

講座

この装置の構造は図—6.12 に示すように、直径 5 cm、長さ約 1 m の鋼管に、長さ約 2 m のチャンネル断面の鋼製あて木を、鋼管の 1/2 の位置に直角に固定させたもの（これをクロスアームとよぶ）で、このクロスアームを盛土の進行にともなって、一定の垂直距離をもって、あて木を水平に鋼管を垂直軸として、盛土中に埋設する。

このクロスアームとクロスアームの中間に、直径約 6 cm、長さ約 260 cm の鋼管を自由に伸縮できるようにして、重複して継ぎ合わせる。

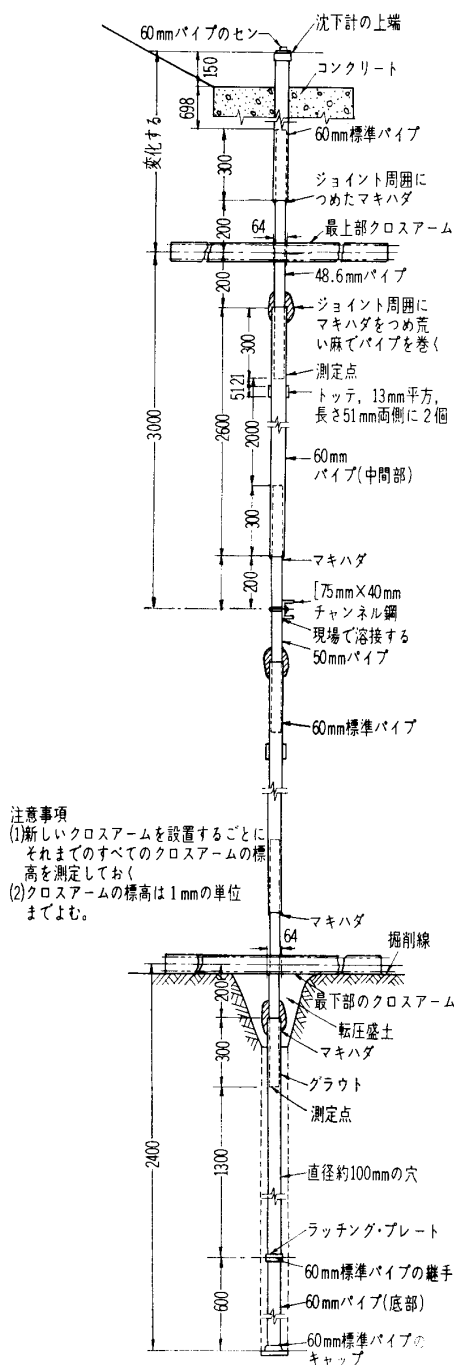
沈下量は、水平あて木が載荷重によって沈下してゆくとき、その沈下が垂直方向の管に伝達され、垂直管の下

端をトーピーダー（図—6.13）と呼ばれる測定装置によって地上より測定する。この測定により各クロスアームの沈下量がわかる。

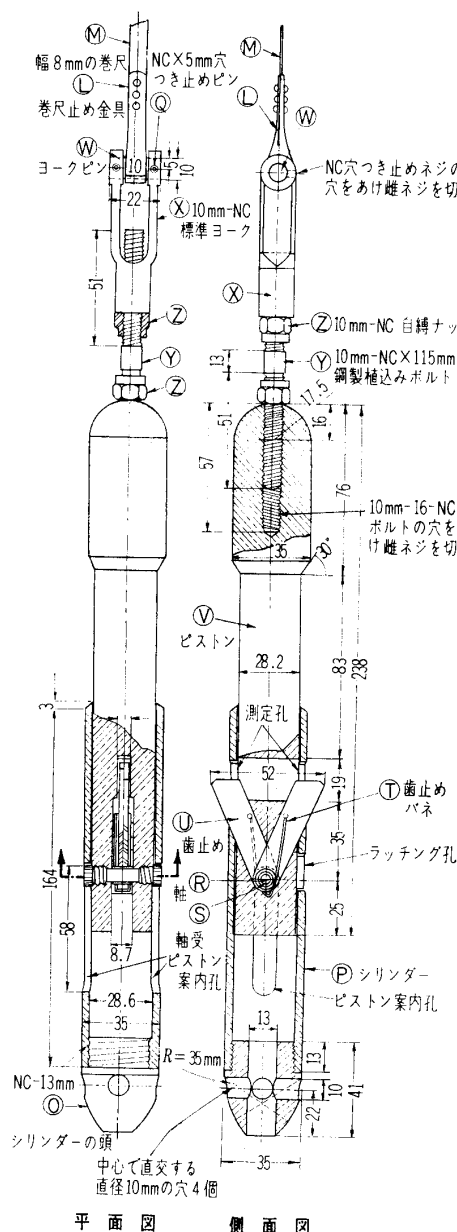
(b) 多段型沈下計

舗装体各層の交通荷重による沈下量を測定する時に用いられたもので、各層の間の沈下量は 70 mm 程度までは測定できる。

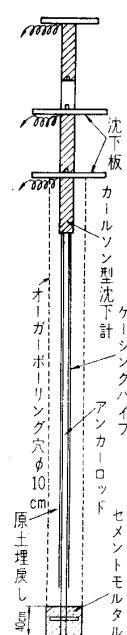
路面下 2 m で交通荷重による沈下はないとみなして、2 m の深さに、アンカーロッドを定着させる。舗装体の各層の上面に沈下板を設置し、アンカーロッドと沈下板の間に、ストローク 20~70 mm の電気抵抗式ヒズミ計をそう入し、アンカーロッドが抜け上がる量を、ヒズミ計で吸収し、シュウ動抵抗型変換器で測定する装置である（図—6.14）。



図—6.12 クロスアーム



図—6.13 トーピーダー



図—6.14 多段式沈下計

6.1.3 測定装置の選定

(1) 周囲条件による測定装置の選定

軟弱地盤の沈下を測定しようとするとき、測定装置の選定に当たって、周囲条件を検討する必要がある。

測定装置の選定にもっとも関係のある周囲条件は、沈下しない不動点が測定位置の近くで簡単に得られるかどうかということである。

不動点が得られる場所では、レベルング作業で測定できる装置を用いるのが、一般には経済的であるし、装置も簡単なものとなる。たとえば、沈下板とか層別沈下計がこの形式である。

海岸堤防などのように、地盤沈下と盛土による沈下の両方の現象が起きている条件下では、基準鉄管またはアンカーロッドを用いた装置を選定せざるをえない。たとえば、観測井、連続式沈下計などの形式である。

周囲条件として検討すべきもう一つのポイントは、見通しや、風波の条件である。つまりレベルング作業に不都合な条件が考えられるときは、これに代わる浮子による方法、連続管による方法、水圧計による方法、傾斜計による方法などが、測定装置の選定対象となってくる。

(2) 測定目的による測定装置の選定

測定目的を満たす測定装置を選定するのは当然のことである。たとえば軟弱層全体の沈下量のみ測定すれば良いときは、地表面沈下板で良いし、盛土完了後の沈下だけ測定すれば目的をはたすときは、たんに盛土上にマーキングしたブロックなどの標点を設けるだけで良いこともある。

一般に沈下を測定する目的の一つとして、将来の沈下の推定を行なう資料とするのが普通である。

この場合、地表面で軟弱層の全沈下量を測定して、こ

とたれりと考えると、将来沈下の推定ミスを犯す場合が多い。とくに軟弱地盤が、圧密特性を異にする二層以上の層序より構成されているときには、深層沈下板を設置して、各層ごとの沈下傾向を把握し、各軟弱層ごとに解析しないと正しい推定沈下量が得られない。

ある道路盛土の測定によると、道路完成後の残留沈下量を地表面型沈下板で推定すると 10 cm 程度という値がでたのに対し、深層沈下板を用いて測定すると 40 cm 程度の残留沈下が推定された。そしてその後数年間の実測によると 30 cm 程度沈下が発生し、後者の推定値が妥当であったと報告されている。

(3) その他計器選定上の諸条件

予想沈下量の最大値は、計器の測定容量の面から選定上の一つの条件となる。また計器の構造上、クリアランスのとり方などにも関連する。

測定に要求される精度も、選定上の一つの条件となることは前にものべた。測定装置の有する精度は、構造に寄るところも大きい計器設置時の不注意によって精度をいちじるしくそこなうことがあるので注意を要する。

機械化土工の発達した今日、施工能率を阻害したり、作業の安全性を落とすような計器類は望ましくないし、測定計器自体を破損したら今までの測定値も水泡と化してしまう。工事の施工に障害となる程度も、計器選定上の条件である。

工事現場の省力化の問題は最近ますます深刻な問題となってきた。したがって計器の選定上で、測定に要する手間の問題も無視できない。

計器の設置時には、多少の手間と経費を必要としてもその後の観測手間が簡便な計器は総合的にみれば良い計器といえるであろう。

※ ※ ※ ※