

ウォーターレベルについて

高橋賢之助

§ 1. まえがき

構造物の基礎を設計する場合、一般にはボーリング・土質試験・くい打ち試験・載荷試験などを実施して、理論的あるいはそれに経験的知識を加えて、地盤の支持力や構造物の沈下量を推定し、基礎の大きさや根入れの深さなどを決めている。

しかしこのようにして設計し施工した構造物の沈下量が、実際にどのようなになっているかを測定した例は非常に少なく、また実際に測定してみても理論的に推定した沈下性状を示さないことが多いのである。これは土質や地盤と構造物との関係がまだまだつかめていないことを示しているといえる。

やわらかい地盤の上につくられる構造物の沈下については、設計し施工する技術者にとって当然の関心事であり、また堅い地盤上につくられる構造物であっても、地盤の弾性的な変形による沈下量まで考慮しなければならないような構造物、たとえば高層部分と低層部分とをもつ建物では、その接続部分の補強方法や施工方法が問題になり、ある現場の例では、設計面において接続部分の構造的な補強を考え、施工面においては接続部分の鉄骨バリに継手を設けてボルトの締め付けをおこなわず、その部分の基礎スラブ・基礎バリ、大バリ・耐震壁などを除いてコンクリートを打設しつつ、常に不同沈下量を測定してその両側にある柱間に生じる不同沈下量の変化状況から、それ以後のコンクリートの打設によって完成までに生じるであろう不同沈下量を推定し、その推定値からこれまでに生じた不同沈下量を差し引いた値が、許容されると考えられる限度以内に納まる見通しがついてから、鉄骨バリのボルトの締め付けをおこなってコンクリートを打設することになっている。また近年盛んに採用されてきている逆打ち工法においても、各柱脚間に生じる不同沈下量を測定し、その結果を常に検討して工事をどのように進める（不同沈下量が有害と思われる程度まで増大する傾向があれば、地上階の工事を一時中止して地

下の工事を急ぎ、地下の工事が終わってから地上階の工事を進める）かを決めた現場もある。

古い構造物の沈下量や沈下性状がわかっておれば、それに隣接する敷地で同規模までの構造物を新設または増設する場合、土質や基礎型式が同じであれば、相当に高い精度で沈下量や沈下性状が推定できる。この推定ができれば、たとえば建物の増築をおこなう場合、これからつくる建物を何 cm 位上げてつくればよいか推定できるし、また古い建物との接続部分の構造や施工方法をどのようにしなければならぬか、を決める手掛りともなる。このようにして推定し、さらにその推定値が正しかったかどうかを実測して確かめている現場もある。

以上述べたものは直接当面している構造物の沈下の測定についてであるが、これ以外に、根切り工事やくい打ち工事をおこなう場合、工事の進行に伴って隣接する構造物を沈下させたり傾斜させたりすることが多いが、ある現場では地下3階の根切り工事をおこなうに際して隣りの建物の沈下状況を毎日観測（沈下や傾斜が問題になる程大きくなるような場合には、直ちにその対策をするため）していた。幸にして沈下や傾斜も大きくなく問題にはならない程度であったが、それにも増して、隣りの建物の持主から非常に信用され、順調に工事が進められている。

このように構造物の沈下を測定するためには、現場において正確な水平面が簡単につくれなければならない。

沈下を測定するための水平面をつくる方法には、次に示す2つがある。

a) 光学機械を用いる方法

b) 水盛りの原理による方法

a) 光学機械を用いる方法は、測定に用いる計器（レベル）の精度やその調整の程度によって、また測定する技術者の技術の程度によって誤差を生じ、高い精度の水平面を設けることが困難なようである。同じレベルを用いても測定する技術者が異なれば得られた結果も異なるなど、個人差も入ってくることが多い。さらに

測定点間に障害物があれば直接水平面を設けることができないこともあり、数回レベルを移動しなければならなくなると、誤差が累加されることもある。

b) これに対して水盛りの原理による方法（ウォーターレベル）は精度が高い上に個人差も入りにくく、障害物があっても直接水平面を設けることができるなど数々の利点があって、近年この原理によるウォーターレベルを用いることが比較的多くなってきている。

ウォーターレベルについては、小泉安則博士が「構造物の沈下測定法」に示しており、筆者も小泉博士の御指導を得て沈下の測定をしていた。この時に用いたウォーターレベルは小泉博士が示したテルツァギ式ウォーターレベルである。

このウォーターレベルを用いる場合、わずか2点間の測定をおこなうにも測定者が2人必要になり、多くの測定点を測定するには2人の測定者と1人の記録する者が必要であった。また20点程度の測定をおこなうのに3人で半日ないし1日必要であった。

このように多くの人員と時間とを必要としたため、工事現場での使用は困難で一般に普及しにくく、土質や基礎に関係する研究者や特に構造物の沈下に興味をもって技術者の間でのみ使用されてきた。

テルツァギ式ウォーターレベルにはこのような問題があったので、筆者は、測定器やホースなどの製作費や購入費が増加し、また測定を開始する前の準備に苦勞しても、測定が1人でしかも短時間にできる装置や方法にした方が、より一層普及しやすいだろうと考えてウォーターレベルの改良に努力してきた。

その結果、1人でしかも非常に短時間に測定できる清研式ウォーターレベルを一応完成することができた。

最近では建設工事でも大掛りになり沈下の測定をおこなう現場も次第に多くなってきているのを機会に、小泉博士の示したテルツァギ式ウォーターレベルの測定装置や方法をも含めて、筆者の知っているウォーターレベルについてまとめてみることにした。

§ 2. ウォーターレベルによる沈下測定の原理

基準点と測定点との高さがある水平面からそれぞれ測り、その差をとれば基準点に対する測定点の高さを知ることができる。今、図-1においてある水平面から基準点までの高さを h_1 、同じ水平面から測定点までの高さを h_2 とすれば、その差 h は基準点に対する測定点の高さで

ある。

$$h = h_1 - h_2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

この場合、図-2に示すように、水平面の高さが直接問題にならないことを直ちに理解できる。

$$h = (h_1 + a) - (h_2 + a) \quad \dots\dots\dots(2)$$

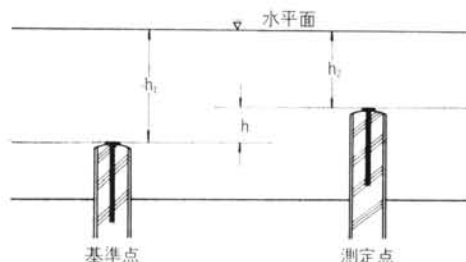


図-1 測定の原理

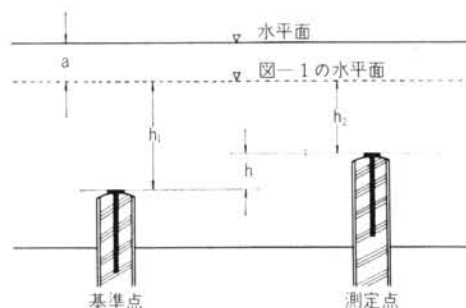


図-2 測定の原理（水平面の高さには関係しない）

水平面は連通管を使用すれば容易に設けることができる。すなわち水質・水温・気圧などの総ての条件が同じであれば、連通管両端の水面を結ぶ直線は水平になる。

このため図-3に示すように基準点と測定点に物差しをつけておけば、水平面からそれぞれどれだけの高さにあるかがわかることになる。

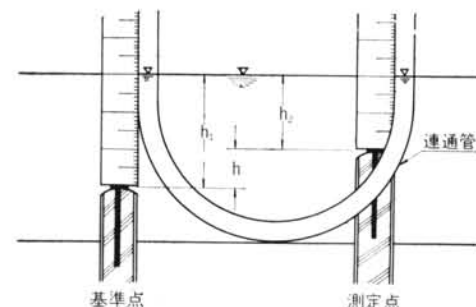


図-3 測定の原理（物差しを取付ければ測定できる）

沈下量を測定するには基準点に対する測定点の高さ h が、時間や荷重の変化にしたがってどのように変化していくかをみればよい。

この場合、基準点を動かさない所に設ければ絶対沈下量が測定できるし、動く所、たとえば測定構造物の内のある1点を基準とすれば、その点を基準とする沈下量が測定できる。

§ 3. 従来のウォーターレベル

小泉博士らは昭和28年頃まで図-4に示すような装置を用いて、アパートなどの建設に伴う沈下についての研究をおこなっていたが、昭和28年頃図-5に示すテルツアギ式ウォーターレベルを米国のソイルテスト社から購入し、これを実用化するため基準点や測定点の設置方法をはじめ、これに付随する数々の部品を考案し、昭和29年からアパートや庁舎などの沈下の測定に使用した。

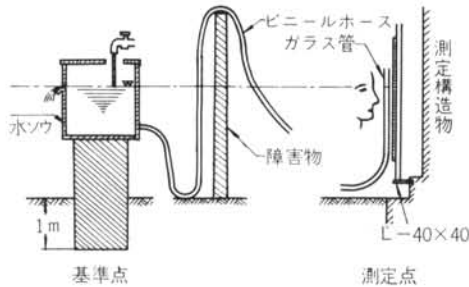


図-4 小泉博士が、昭和28年頃まで用いた沈下測定装置 (小泉博士原図)

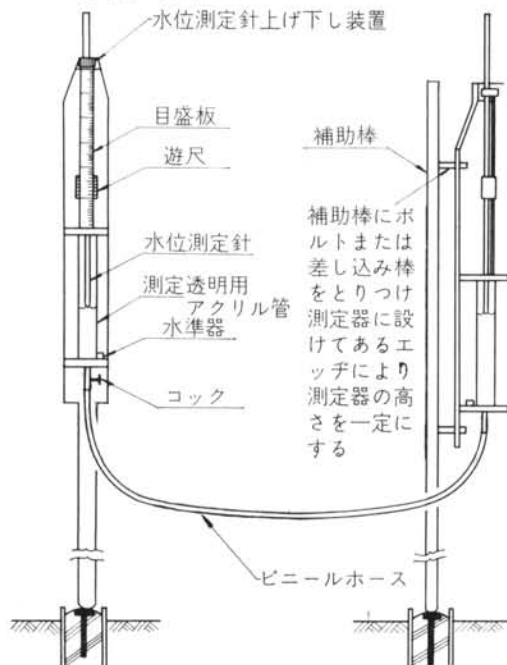


図-5 テルツアギ式ウォーターレベル

3.1 基準点の設置

絶対沈下量を測定するための基準点は沈下などの影響を受けないように設けなければならない。図-6には沈下測定に使用される基準点を設置するいくつかの方法を示している。

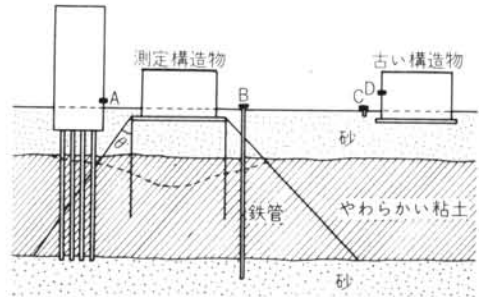


図-6 基準点の設置位置 (小泉博士原図)

この図の場合、測定構造物の沈下の大部分はやわらかい粘土層と上部のゆるい砂層によって生じるから、基準点は粘土層の下にある密な砂層に定着させる (A・B) か、あるいは測定構造物による地中応力の範囲外 (C・D) に設けなければならない。

Aは、密な砂層に支持されている構造物に設けた基準点であり、Bはボーリング孔内に直径5~10cmの鋼管を打ち込んで、その上端に設けた例である。Dのような場合には、これを設置する構造物自身の沈下が全くないか、または無視できるものでなければならないことはもちろんである。Cのように地表に設置する場合には凍上などの影響を考慮して埋め込み深さを1m以上にするほか、破損されないように十分な養生が必要である。

地盤沈下地域における長期間の測定にAやBのような基準点を用いる場合には、地盤沈下による沈下量も含まれてくるので、このような場合にはCやDのように測定構造物による地中応力の範囲外に、地盤沈下量を測定するための測定点を設けて測定構造物とともに測定すれば、地盤沈下量と測定構造物の重さによる沈下量とを分割することができるし、測定構造物の重さによる沈下量のみを測定しようとする場合には、CやDのような基準点を採用すればよい。

図-7には小泉博士の研究室で採用している基準点を示している。(a)は図-6に示したBのボーリング孔内に打ち込んだ鋼管の上端部分を示し、(b)はAやDのように構造物にとりつけた場合を示している。

工事現場などではこれらの図に示されているような基準点を用いずに、電柱などに設ける可能性が多分にあるが、構造物の沈下を測定するための基準点はその使用期

間が非常に長くなるので望ましくない。特に市街地では破損される恐れがあり用いるべきではない。また同図に示されたような基準点にしても、でき得れば離れた2個所に設けてこれらの関係を明らかにしておくことが望ましい。

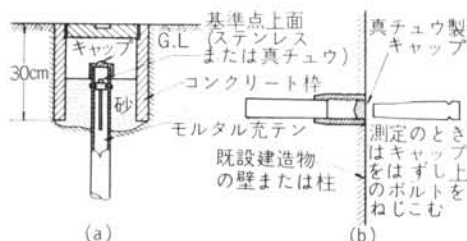


図-7 小泉博士の採用している基準点例(小泉博士原図)

3.2 測定点の設置

構造物に測定点を設置する場合には、設備や配管などを考慮して沈下の測定はもちろん、現場の工事にも支障をきたしにくい位置を選ばなければならない。

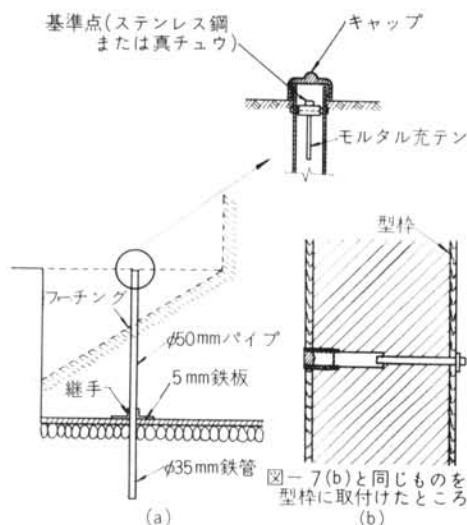


図-8 小泉博士が採用している測定点例(小泉博士原図)

図-8にも小泉博士の研究室で採用している測定点を示している。(a)は基礎のコンクリート打設前に設置したものであり、(b)は細い柱や壁のコンクリート打設前に型枠にとりつけた例で、図-7の(b)に示したものに多少手を加えて加工したものである。このほか図-4に示したようにL型鋼を埋めこんだ例もある。

3.3 測定器

図-4に示した測定器は基準点に水ソウを設置し水道

などから常時送水して溢流させ、水ソウの下端からゴムホースやビニールホースを用いて測定点まで水を導き、ホースの先端にはガラス管をとりつけ、測定点には物差しか棒に物差しを固定した補助棒を立てて、ガラス管内の水面の高さを読みとるものである。このような装置を用いた場合の測定精度は1mm程度であろう。

図-5に示した測定器はガラス管に相当する測定用水管(透明アクリル管)部分と、物差しに相当する水位測定器部分とよりできており、水位測定器部分は水位測定針・目盛り板・遊尺・水位測定針上げ下ろし装置とからできている。これらの測定用水管部分と水位測定器部分は図にみられるようにまとめられて1つになっている。このほか測定器を釣り下げて高さを一定にするための装置、また測定器を鉛直に保つための水準器がとりつけてある。このテルツァギ式ウォーターレベルは測定器が2台と連通管ホース(一般には長さ約30mの透明なビニールホース)が1本で1組である。

図-5に示すように連通管ホースの両端に測定器をとりつけて水を入れ、静止した測定用水管内の水位を水位測定器を用いて測定するもので、水位測定針を微動ネジによって上下させ、水位測定針の先端が水に接触した時または一度接触した水位測定針の先端が水から離れた時の高さを、目盛り板と遊尺とを用いて読みとるようになっている。この測定器の測定精度は0.3mmである。筆者は測定精度を0.1mmにしようと思ひ、測定器を製作したが満足すべきものではなかった。

3.4 補助棒および三脚

この測定器は図-7(b)に示すようにボルトなどに釣り下げて測定するようになっているから、基準点や測定点に測定器を釣り下げられるようにしなければならない。このためには基準点を図-6に示したAやDのような既存の構造物に、図-7(b)に示したようにボルトをネジ込めるようにするか、図-6に示したBやCを必要な高さまで延長して立ち上げ、その側面にボルトなどを溶接して設けなければならない。また測定点についても同様である。

図-6に示したBやCの基準点を地表より高く立ち上げた場合には、破損される恐れがありまた美観やその他の理由からこのように立ち上げた基準点や測定点を設置することが困難なようである。このため図-7(a)や図-8(a)に示したような基準点や測定点にしなければならないことがしばしばであり、したがって図-5に示したような補助棒とこの補助棒を鉛直に保つための三脚が必要になる。

3.5 水とホース

水には一般に酸素・窒素・炭酸ガスなどの気体を溶解している。水は温度が低い程多量の気体を溶解することができ、逆に温度が高い程溶解し得る気体の量は少なくなる。したがって低温の水をホースに入れてその後、外気温の上昇などによりホース内の水温が上昇した場合には、ホース内で気泡が発生する。

ホース内で発生した気泡は非常に小さいが、次第に集まって図-9に示すような大きな気泡になり、ホース中の水を2分するから、気泡の両側にある2つの測定用水管内の水面間に高さの差ができ、この2つの水面を結ぶ直線が水平にならない。

したがってこのウォーターレベルに用いる水は煮沸して気泡を抜くことが必要になる。

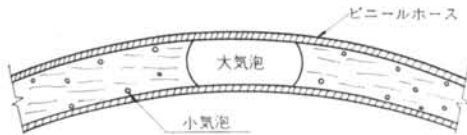


図-9 連通管ホース中の気泡

しかし煮沸して気泡を抜いた水を入れてもホースの内面には空気が付着しており、また水を入れる時に気泡を入れることもあって、ホース内の水から気泡を完全に抜くことはむずかしい。したがって気泡が集まって測定に支障をきたすようになった場合、気泡を発見しやすいようにするため透明なビニールホースが用いられる。

このウォーターレベルは図-5に示したように測定器をボルトなどに釣り下げてからコックをゆるめ、連通管ホースや測定用水管内の水が完全に静止するのを待って測定するようになっているが、水には粘性があって静止するまでに時間が掛る。したがってホースが長ければそれだけ待ち時間が長くなるので測定能率が低下する。このためホースの長さは短いものの方がよいことになるが、余り短過ぎるとその移動回数が増加し測定能率が低下するほか、測定誤差も累加されて望ましくない。一般には25~30mの透明なビニールホースが用いられる。

またホースの肉厚が薄過ぎると折れやすく、特に図-4に示したような障害物を越す場合などホースが折れて中の水を2分し、連通管の役をしないことになる。したがってある程度の厚さをもっていなければならない。

ホースに水を入れるにはサイフォンによるのが最もよいようである。すなわちホースをウズ巻き状にして水平な床に置き、一端(水の出口)に測定器をとりつけて水が流れ出てもよい所に斜めに立て掛けておき、他端からサイフォンにより水を入れる。この場合ホースの一部分

が床面から浮いて高くなっていると、その部分で気泡が止まり動きにくくなるので、筆者は鉄筋などを乗せてホースが浮き上がらないようにしている。

このように十分に注意して水を入れても、ホースの内面には小さな空気が付着しており、また小さな気泡が残っているから、棒などで叩いて小さな気泡を集めてホース外に追い出しておかなければならない。

3.6 測定の実際と測定上の注意

今a・b2点間の測定をおこなう場合、a点に測定器A またb点には測定器Bを設置することに決めて1回目の測定をおこなったとすれば、何日か後の2回目の測定に当たってもa点に測定器A、b点に測定器Bを設置しなければ測定器個々の特性による誤差を除去することができない。このことは補助棒やボルトについても同様である。

しかし実際の測定に当たっては間違えることもあり、間違えなく設置しても測定用水管内や連通管ホース内の水が完全に静止していたかどうか、また正しい測定がおこなわれたかどうかをチェックすることができない。特に測定器の具合が悪くなって修理した場合、特性が変わってしまうなどの欠点がある。

これらの欠点を除去するためには、初めa点に測定器A、b点に測定器Bを設置して測定したとすれば、直ちにa点に測定器B、b点に測定器Aを設置して測定をおこなえばよい。

すなわちこれら2回の測定により得られた測定値をそれぞれ h_a, h_b, h_a', h_b' とすれば、それぞれの測定における測定値の差 $(h_a - h_b)$ と $(h_a' - h_b')$ の差の絶対値 Δ は、その時に用いた2台の測定器による特性を示すもので、水が完全に静止し正しく測定された場合には常に一定の値を示すものであるから、実際の測定においては常に測定器を交換して Δ をチェックし、 Δ が一定値を示さない場合は測定をやり直さなければならない。この Δ はあらかじめ室内で求めておけばよい。

$$\Delta = (h_a - h_b) - (h_a' - h_b') \quad \dots\dots\dots(3)$$

このように常に測定器を交換して測定しておけば2点間の真の高低差 h を(4)式で求めることができ、また測定

$$h = \frac{1}{2} \left\{ (h_a - h_b) + (h_a' - h_b') \right\} \quad \dots\dots\dots(4)$$

器の具合が悪くなった場合修理しても、修理後の Δ を求めて使用すれば、測定結果には何ら影響を与えることがないので有利である。

2点間の距離が連通管ホースの長さより離れている場合には、途中に中継点を設けてまずa点と中継点との高低差 h' を求め、次で中継点とb点との高低差 h'' を求め

て加えれば、a・b 2点間の真の高低差 h を求めることができる。

$$h = h' + h'' \dots\dots\dots(5)$$

したがって測定点が多くある場合にもある測定点を他の測定点に対する中継点と考えればよいことになる。

このようにして測定し、最後の測定を最初に測定した測定点に戻るようにしておけば、この間において生じた測定誤差の程度を知ることができる。

次に、測定に際して注意しなければならないことを列記しよう。

1) 前に述べたように水を煮沸し十分に注意して連通管ホースに入れても、気泡が完全に抜けているとは限らないので、常に連通管ホース内の気泡に注意するとともに測定値にも注意して、予想外の測定値が得られた場合には必ずホース内の水を点検し、気泡があれば追い出して測定をやり直す必要がある。

2) 補助棒やボルトなどのように測定に直接関係するものには番号を付け、どの測定点にはどの補助棒やボルトを用いるのかを記録し、間違えないようにする。

3) 補助棒を使用する場合には、測定器とともに補助棒も鉛直に保持しなければならない。

4) 測定に用いるウォーターレベル内の水の温度に差があれば、水の密度に差ができるので、2つの測定用水管内の水面間に高さの差ができて、2つの水面を結ぶ直線が水平にならなくなる。この場合途中の連通管ホース内の水温は水面の高さの差には関係しないが、測定の途中で暖められたり冷やされたりすれば、ウォーターレベル内の水がその温度にしたがって膨脹したり収縮したりし、望ましくない。したがって基準点や測定点はこのことを留意して決めなければならない。特に屋外での測定には直射日光を避けるようにし、できれば外気の温度がほぼ一定な早朝の日照り前とか夕

測点番号 No. 1 基点 No. BM 計測棒 基 2(中穴) > 11月1日より上穴使用
測 1 > 測定建物 T-H

年月日	計 器 の 読 み				基点からの 高低差 (各読み 差)	基点からの 高低差	BMからの 高低差	沈 下 量		備 考					
	測 点		基 点					1/100呎	mm						
31.4.3	17.4	17.4	17.4	19.2	19.2	19.2	-1.8	-3.95	-3.95	0	0				
	15.7	15.7		21.8	21.8		-6.1								
6.29	20.3	20.3		7.6	7.6		+12.5	+14.7	+14.7	18.65	56.9	コンクリート 打設終了後			
	24.7	24.7		7.8	7.8		+16.9								
9.5	33.9	33.8	33.8	33.8	33.8	2.7	2.8	2.8	2.8	+31.0	+33.2	+33.2	37.15	115.1	完了後
	36.1	36.0	36.0	0.7	0.6	0.6	+35.4								
11.1	3.9	3.9	3.9	18.6	18.6	18.6	-14.7	-13.9	62.6- 13.9 +48.7	52.65	160.5	レベル穴の差 62.6			
	7.4	7.4		20.5	20.5		-13.1								
32.2.11	15.8	15.8		14.1	14.1		+1.4	+1.85	62.6+ 1.85 +64.45	68.40	208.5				
	15.9	15.8	15.8	13.1	13.2	13.2	13.2						+2.6		
5.29	21.3	21.3	21.3	9.6	9.6	9.6	+11.7	+10.95	62.6+ 10.95 +73.55	77.50	236.2				
	22.6	22.7	22.7	12.1	12.1	12.1	+10.2								
8.5	22.4	22.4		6.0	6.0		+16.4	+15.65	62.6+ 15.6 +78.25	82.20	250.5				
	24.4	24.4		9.5	9.5		+14.9								
33.5.19	27.1	27.1		1.4	1.4		+25.7	+25.0	62.6+ 25.0 +87.6	91.55	279.5				
	29.2	29.1	29.1	4.7	4.8	4.8	4.8						+24.3		
10.21	36.3	36.3		6.2	6.2		+30.2	+29.5	62.6+ 29.5 +92.1	96.05	293				
	38.4	38.4		9.6	9.6		+28.8								
34.8.17	37.3	37.3		2.8	2.8		+34.5	+35.25	62.6+ 35.25 +97.85	101.80	310				
	40.8	40.8		4.8	4.8		+36.0								

表-1 テルツァギ式ウォーターレベルによる記録用紙と記録例

方の日没後または曇りの日などが望ましい。

- 5) 風の強い時には測定用水管内の気圧が負圧になったり過圧になったりするし、連通管ホースも風圧によって変形する。これによって測定用水管内の水面が微動し測定できなくなる。したがって測定器に直接風が当たらないようにすることはもちろん、連通管ホースにも風が当たらないように注意する。
- 6) 足場板など動きやすい物に触れていれば、通行人や測定者自身の動きによって連通管ホースが動き、測定用水管内の水面が微動して測定できなくなる。また測定者の衣服に触れている場合も同様であり、注意を要する。
- 7) 測定器を設置しコックを開いて水位測定針が水中に没入した場合は微動ネジで直ちに引き上げ、それから水が静止するのを待たなければならない。測定開始の直前に引き上げた場合は、また静止するまで待たなければならないからである。
- 8) 測定は水位測定針を微動ネジで静かに下ろし、針の先端が静止した水面に接触した時の目盛りを読みとるか、接触させた水位測定針を静かに引き上げて、針の先端が水から離れた時の目盛りを読みとる。この水位測定針の上げ下ろしおよび目盛りの読みとりを1回だけにした場合、水が静止していなくてもまた目盛りの読み違いをしても発見できないから、2~3回おこなう必要がある。

3.7 実測例

この建物は顕著に地盤沈下をしている地域に建築された地上5階の建物で、約20年前に建てられた隣の建物に基準点を設けて測定された。この基準点は図-6に示したDに相当するものである。測定は2階床コンクリートの打設後から始められた。その測定結果と計算値との関係を図-10に、また測定点 No. 1 の記録用紙と記録例

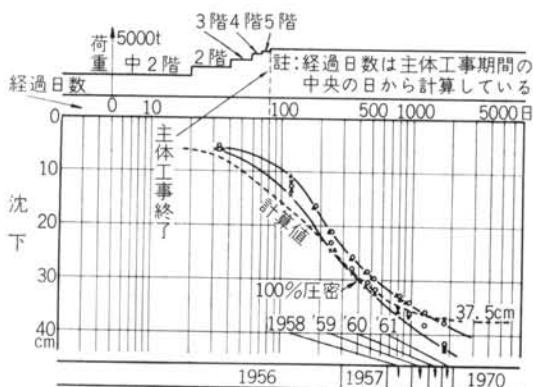


図-10 沈下の実測例 (小泉博士原図)

を表-1 に示す。

§ 4. 清研式ウォーターレベル

まえがきにも述べたように、筆者は測定器やホースなどの製作費や購入費が増加しても、また測定開始前の準備に苦労があっても、測定が一人でしかも短時間にできる装置や方法にした方が、テルツアギ式ウォーターレベルより普及しやすいと考えた。

その結果、一人でしかも短時間に測定するためには、ウォーターレベルを完全に固定しなければならないとの結論に達し、清研式ウォーターレベルを一応完成した。

しかし、清研式ウォーターレベルを用いる場合でも、基準点の設置方法などについては、小泉博士の研究室で採用している方法によらなければならないことがあるのは当然である。

以下、清研式ウォーターレベルがどのような考えからこのようなものになったかの、筆者の考え方もおり込んで述べることにする。

4.1 測定器

ウォーターレベルの測定器は、大別して測定用水管部分と水位測定器部分からできており、テルツアギ式ウォーターレベルでは、これら2つの部分がまとまって1つになっている。

テルツアギ式ウォーターレベルの測定器を、何ら改良せずに固定しようとするれば、測定点(基準点も含む)の数だけ準備しなければならなくなり、その製作費用は莫大になる。特に水位測定器部分は目盛りを切つてある関係上、その製作費用は非常に大きくなる。

しかも、水位測定器部分は測定をおこなう時にだけ必要であり、それ以外は全く必要としないから、測定をおこなう時に水位測定器を正しく設置することができ、正しく測定できればよい物である。

また、測定用水管部分は連通管ホースとともに完全に固定しておき常に水を入れておけば、水は常に静止の状態にあるから待ち時間を全く必要としない。

しかも、水位測定器部分は一つ作っておけば測定できるから、2つの部分に分割することにし、水位測定器と測定用水管を製作した。

4.1.1 水位測定器:

磁石はよく鉄に付着する。水位測定器を磁石にとりつけ、測定用水管を鉄板にとりつけておけば、鉄板に水位測定器を付着させて測定できるから、ダイヤルゲージの

スタントの磁石部分を利用することにした。

次にテルツアギ式ウォーターレベルの水位測定器部分は、**図-5**にみられるように目盛り板を固定し、水位測定針と遊尺とが一緒になって動くようになっていたから非常に長く、工事現場などで持ち歩けば破損する可能性もあるので、テルツアギ式ウォーターレベルの遊尺に相当する部分を磁石にとりつけ、目盛り板の下端を水位測定針として使用できるようにし、目盛り板にネジを切れば、水位測定器を短くすることができるので持ち運びが便利になるなどの理由から、**写真-1**に示す水位測定器を製作した。

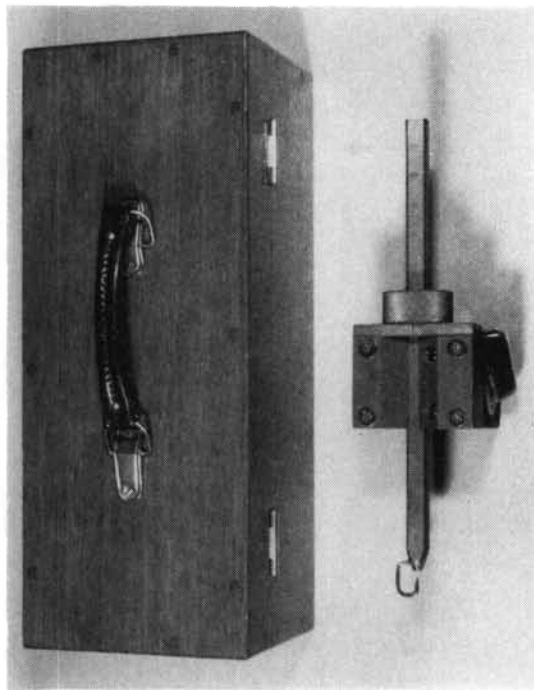


写真-1 水位測定器

この水位測定器では水位測定針の形がテルツアギのものとは違っている。これは水位測定針の先端に油脂が付着した場合、測定用水管内の水面に接触したことがわかりにくいと、測定用水管内の水面を斜め下方から見れば鏡になるので、水位測定針を細くして水中に入れ水中から水面を測定するにすればよく見えることによるものである。この水位測定針にはステンレスを使用している。

測定精度はテルツアギ式ウォーターレベルと同じく0.3mmにした。

4.1.2 測定用水管：

測定用水管はテルツアギ式ウォーターレベルと大差は

ないが、水位測定器を分割して磁石にとりつけてあるから、測定用水管の亚克力管部分を鉄板にとりつけた。

この鉄板の厚さは薄いと磁石の付着力が弱く、水位測定器の微動ネジを操作しても動かないように付着させるためには、約5mmの厚さが必要であった。

水位測定器を正しく設置するためには定規が必要になる。この定規は測定用水管とともに工事現場などに固定されるから、その上端に合わせて水位測定器を設置するようになれば、ほこりが付いた場合正確な測定ができなくなるので、下端に合わせるようにした。

このほか、テルツアギ式ウォーターレベルには、移動中ホース内の水をこぼさないようにするためのコック、測定器を鉛直にするための水準器がとりつけてあるが、この測定用水管は構造物に固定されるので全く必要としないから、**写真-2**に示すように簡単なものになった。

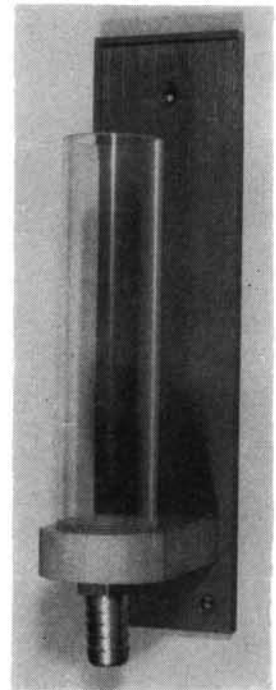


写真-2 測定用水管

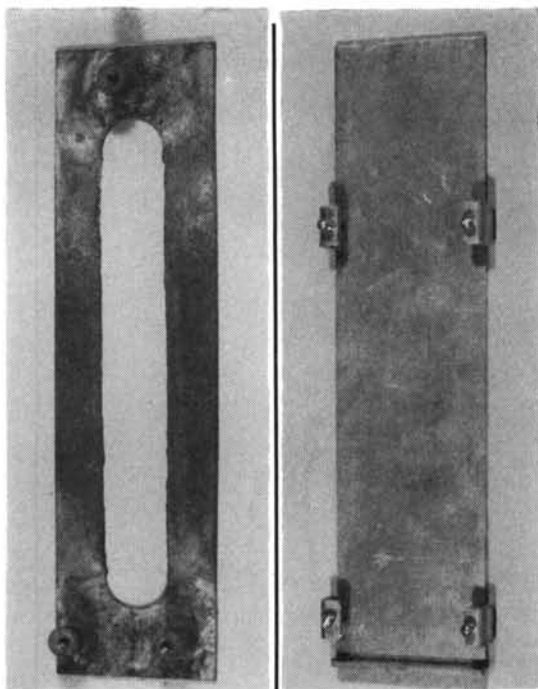
4.2 測定用水管の固定方法

測定用水管はボルトや木ネジで固定できればとりつけが簡単になり、また全測定が終わった後に回収できて再度使用できるから、ビス止めできるような**写真-3**に示すような金具を製作した。

この金具は型ワクの内側にビス止めて置き、コンクリートを打設して硬化した後ビスをはずして型ワクをとれば、同じビスを用いて直ちに測定用水管がとりつけられる。

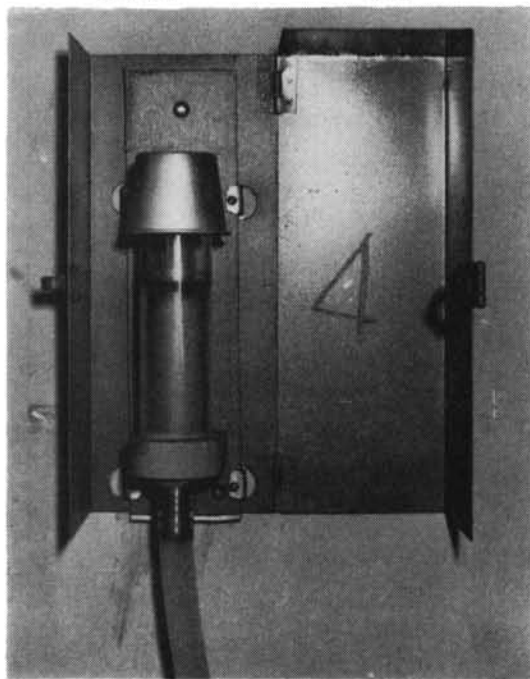
既存の構造物に測定用水管をとりつける場合は、**写真-3**の金具が使用できないので**写真-4**に示すアルミニウム製接着金具を製作した。この接着金具を接着剤で構造物にはりつけられれば、測定用水管は**写真-5**に示すようにとりつけられる。

工事現場で工事期間中だけ測定する場合には、厚さ3cm程度の板を接着し、木ネジでとりつけてもよい、



写真一三 測定用水管固定埋込み金具

写真一四 測定用水管固定接着金具



写真一五 測定用水管の固定状況(接着金具使用)

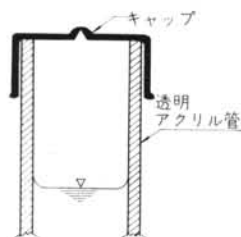
4.3 測定用水管の保護箱

測定用水管は測定期間中構造物にとりつけておくから当然保護する箱が必要になる。また測定に際して不便が

あつてはならないし、測定用水管とともに同じボルトや木ネジでとりつけられれば便利であるから、写真一五にみられる保護箱となった。この写真はアルミニウム製接着金具をはりつけてとりつけたものである。

4.4 測定用水管ほこり防止キャップ

保護箱を用いても測定用水管内にほこりが入る。特に工事現場ではほこりが多く測定しにくくなる。このほこりの浸入を防止するためのキャップが必要になる。筆者は既製の計量カップを購入し、図一11に示すように小さな穴をあけて使用している。



図一11 測定用水管のキャップ

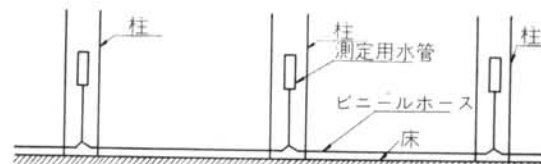
この穴をあけないで使用すれば、気温が上昇した場合には測定用水管内や連通管ホース内の空気および水が膨脹し、キャップを持ち上げて測定用水管内の空気が自然に出るが、気温が低下した場合には

キャップが測定用水管の上端に密着して空気が入らなくなり、測定用水管内の気圧が低下する。測定用水管内の気圧が低下した場合には気圧の影響を受けて、各測定点に設置された測定用水管内の水面が1水平面上にこなくなり、さらに1つの測定点においてキャップをとりはずせば気圧の低下している他の測定点側に水が移動し、正確な測定ができなくなり、したがって穴が必要になる。

このように小さな穴をあけておけば気圧の問題は解決できるが、このため全くほこりが入らないというわけにはゆかないので、筆者は筆を用いて時々ほこりを取っている。

4.5 配管方法(その1)と問題点

ウォーターレベルの連通管ホースを完全に配管して測定する場合、誰でも考える配管方法は図一12に示すように床面に1本のメインホースを通し、三叉管を用いて枝管を適当な高さまで立ち上げ、測定用水管に接続することであろう。



図一12 普通考えられる水平配管(気泡が発生した場合誤差を生じる)

しかし、このように配管した場合にはメインホースの中の水から発生した気泡がホース外に出ないから、メインホース中の水を2分・3分することになり、正確な測定ができなくなる。

メインホース中の水から発生した気泡が自然に抜けるようにするには、図-13に示すように斜めの配管をすればよい。

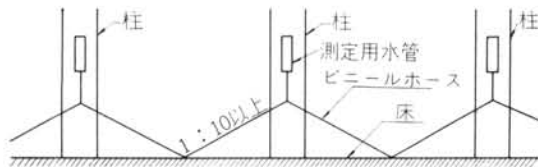


図-13 斜め配管方法

この傾斜を決めるため筆者は簡単な実験をおこなってみた。その結果、ホースを凸凹のないようにした場合で約1/30の傾斜が必要であった。しかし一般には比較的厚いビニールホースが用いられるし、工事現場などで配管作業がおこなわれるので、実験室でおこなうような配管はむずかしい。したがってメインホースの傾斜は1/10以上にすべきで、できれば1/5程度までにすることが望ましい。筆者はこの斜め配管方法を約4年前から採用しており、よい結果を得ている。

しかし、この斜め配管方法にも問題点がある。すなわち、連通管ホースの傾斜を1/10以上、できれば1/5程度までにすることが望ましいと述べた。たとえば測定点の間隔が10mの場合には50cm以上、できれば1m程度までの高低差をとった斜め配管をすることが望ましいことになる。一般にこの程度の高低差をとることは可能であろうが、仮に測定点間隔が100mであったとすればその高低差が5m以上、場合によっては10mにもなり実際上不可能になる。また、建物には必ず出入口があり、完成して使用している場合には壁があっても利用できないこともあって、斜め配管ができなくなり、同様にして大広間の中にある単独柱にも配管できない。

4.6 配管方法(その2)と問題点

水を入れたホースを図-14の実線で示すようにしてホースの中央部分を固定し、ホースの両端を常に上に向けたまま点線で示すように下ろせば、ホース内の水がこぼれない(トリチェリーの真空)ことを誰でも知っている。

この場合、ホースの中央部分と両端の外気に接する水面との高さの差を、約10mまでにすることができることも誰もが知っている。

これを利用すれば出入口があっても図-15のように配管できるし、同様に壁が利用できない場合、また単独柱に配管する場合でも天井に釣り下げればよいことがわかる。

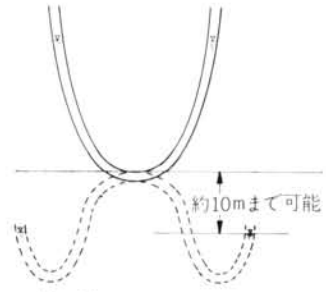


図-14 トリチェリーの真空が応用できる

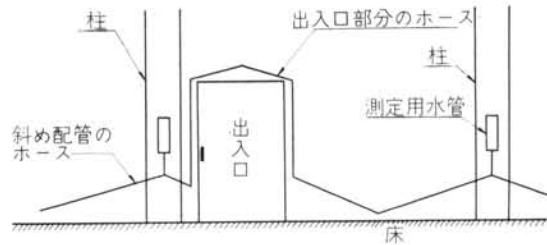


図-15 トリチェリーの真空を応用した配管方法

しかし、図-15のように配管したとすれば連通管ホース内の水から発生した気泡が、一番高い出入口部分の真上に集まってホース内の水を2分し、したがって気泡による大きな誤差を生じるから、このままの配管方法では採用できない。

4.7 気泡による誤差

ここで ①気泡が連通管ホース内でどのような状態にあれば誤差を生じるか ②その誤差はどれだけになるかについて考えてみる。

①については観察すればよい。すなわち、乾いたホースに水を2分する大きな気泡を入れると、入れた気泡のほかに、図-9に示したような小さな気泡もできホース両端の水面に高さの差ができる。次に入れた大きな気泡を追い出してみると、小さな気泡だけでは水面に高さの差ができない。したがってホース内の水を2分する大きな気泡が誤差の原因である。

②については図上で検討してみる。

図-16において一端の水面Aが大気圧に釣り合って静止し、気泡の両端BとCに Δh だけの高さの差があると仮定して、他端の水面Dがど

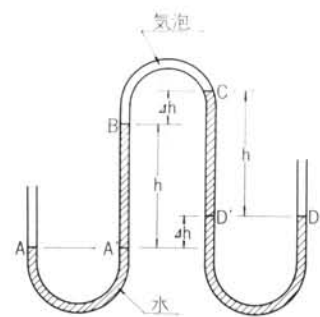


図-16 気泡による誤差

の高さで大気圧に釣り合うかを考えてみる。

A面において大気圧に釣り合っているから、A'面においても大気圧に等しい圧力を受けている。B面はA'面より h だけ高い位置にあるから、B面における圧力は大気圧から $\gamma\omega h$ だけ差し引いた圧力になる。気泡内の圧力には高さによる圧力の差がないと考えてよいから、B面より $4h$ だけ高い位置にあるC面における圧力はB面の圧力に等しいことになり、したがってC面から h だけ低いD'面において大気圧に等しくなる。このD'面はA'面より $4h$ だけ高いから、D面はA面より $4h$ だけ高くならなければ釣り合わない。すなわち気泡両端の高さの差だけ誤差を生じ、気泡両端の内低い方の水面が低く、高い方が高くなる。

4.8 気泡による誤差を除去する方法

連通管ホース内で気泡が発生しても水を2分しなければ誤差を生じないことを述べた。すなわち気泡が発生しても水を2分しないようにすればよい。

これについて誰もが考えることは、集まった気泡を追い出すかまたは抜くことであろう。図-15のように配管したとして気泡を追い出すためには、連通管ホースを床面に下ろす必要があり非常に面倒である。また気泡を抜くことを考えてみると、気泡の集まっている部分は測定

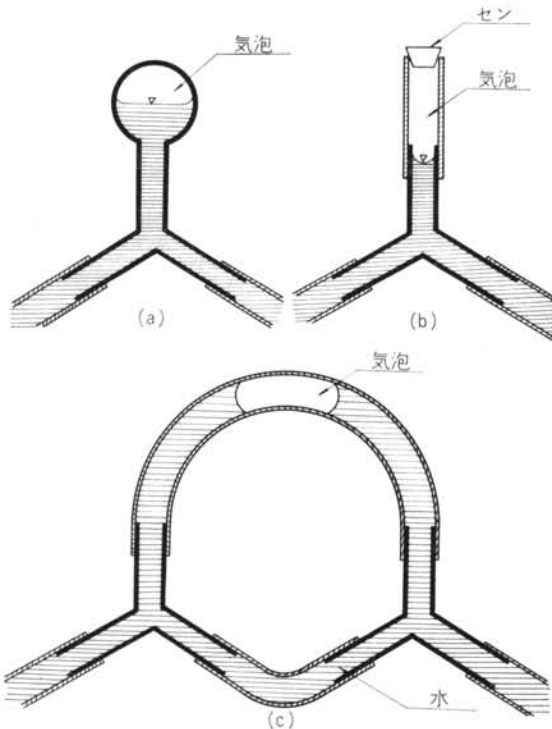


図-17 気泡による誤差を除去する気泡格納装置例

用水管内の水面より高いから、気泡内の圧力は大気圧より低圧であり、この部分に穴を開けて気泡を抜こうとすれば逆に空気が入って大気圧に等しくなるから、水は測定用水管側に流れ落ちるので気泡を抜くことは考えられない。

したがって気泡が発生して集まっても、連通管ホース内の水を2分しない方法を考えればよく、これには図-17に示すように発生した気泡を格納する部分（気泡格納装置）を設ければよい。

4.9 気泡格納部分の容積

大気圧下において1000ccの水に溶解し得る純粋な酸素、窒素および炭酸ガスの量は、ウインクラーらによればそれぞれ表-2に示すとおりである。

温度 (°C)	O ₂ (cc)	N ₂ (cc)	CO ₂ (cc)	温度 (°C)	O ₂ (cc)	N ₂ (cc)	CO ₂ (cc)
0	48.57	23.34	1692	40	21.54	11.06	492.3
5	42.46	20.62	1403	45	19.99	10.32	435.1
10	37.54	18.34	1172	50	18.57	9.67	385.1
15	33.58	16.55	996.3	60	15.89	8.35	291.4
20	30.34	15.09	853.6	70	12.97	6.91	
25	27.46	13.91	732.7	80	9.64	5.24	
30	25.09	12.90	636.0	90	5.49	3.04	
35	23.18	11.92	559.1	100	0.00	0.00	

表-2 水1000ccに溶解し得る気体の容積
(ウインクラーによる)

空気は容積%で酸素が20.96%、窒素が79.01%、炭酸ガス0.03%の混合物であるから、1気圧の空気は酸素が0.2096気圧、窒素が0.7901気圧、炭酸ガスが0.0003気圧の分圧からなっている。ダルトンの法則によれば混合気体における各成分気体の溶解度は、おのおの分圧に比例するから、水が最も多く空気を溶解し得る0°Cにおいても約2.9%である。また0°Cの時に連通管ホース内に水を入れて、真夏に40°Cになったものとして発生する気泡の量を求めてみると約1.6%である。

圧力の変化による気体容積の変化は、初めの圧力に対する変化後の圧力の比に逆比例するから、圧力が2倍になれば容積は1/2に、圧力が1/3になれば容積は3倍になる。建物は一般に床から天井までの高さが3~4mである。測定用水管は床面から1.5m位の高さにとり付けるのが最も測定し易いから、測定用水管内の外気に接する水面と、連通管ホースが最も高くなると考えられる気泡の集まる部分との高さの差は1.5~2.5m程度である。この2.5mによる連通管ホース内の気泡の圧力は大気圧の7.5/10になり、気泡の容積は大気圧下の容積の1.33倍になる。したがって発生する気泡の容積は約2.1%である。

このほか連通管ホース内面に付着している空気もあるであろうから、気泡格納部分の容積は、連通管ホース内で気泡の集まる範囲内にある水の3%程度と考えればよい。

4. 10 配管方法（その3）と作業順序

気泡格納装置を用いれば図-15に示したような配管方法がとれるし、また測定点の間隔がいくら離れていても図-18に示すように配管すれば問題ない。

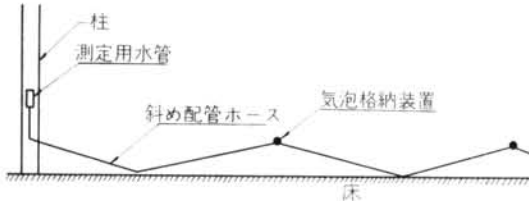


図-18 気泡格納装置を用いれば遠くの測定点にも配管できる

次に配管の作業順序を示す。

- (1) 測定用水管を固定し、完全に連通管ホースを固定できるよう釣り具などをとりつける。
- (2) 連通管ホースの内完全に固定しても気泡が自然に抜ける部分を固定する。
- (3) 気泡格納装置を必要とする部分の連通管ホースは寸法を正確にし、ねじれないように注意して気泡格納装置を接続し床面に置く。
- (4) 測定用水管から十分に注水し、連通管ホース内や気泡格納装置内の気泡を完全に追い出す。
- (5) 気泡のないことを確認し、気泡格納装置やその接続部分からの水漏れのないことを確認した上で、先にとりつけた釣り具などに釣って作業を終る。

4. 11 配管方法（その4）と作業順序

塀などの障害物がある場合には配管方法（その3）によっても配管することができない。このような場合の配管は図-19に示すようになり、作業順序は次に示すようになる。

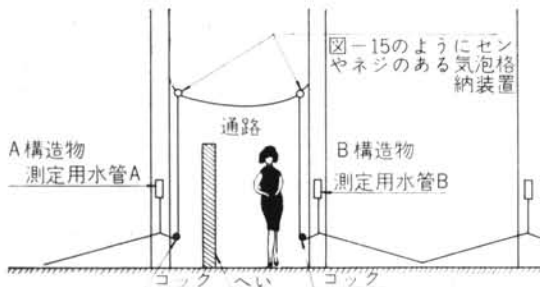


図-19 障害物を越す場合の配管方法

- (1) 測定用水管、連通管ホース、センまたはネジのある気泡格納装置、コックなどを接続して図-19のように固定する。
- (2) 気泡格納装置につけてあるセンまたはネジをはずしコックをゆるめる。
- (3) 気泡格納装置の両側にある測定用水管から十分に注水しコックを閉める。
- (4) 気泡格納装置から十分に注水し気泡を完全に追い出す。空気が入らないようセンまたはネジを完全に閉める。
- (5) コックを開き気泡格納装置やその接続部分から空気が入らないことを確認し作業を終る。

4. 12 配管の実例とその実測例

配管方法（その1）に示した斜め配管の例はいくつかあるが、気泡格納装置を採用したものは1例よりない。斜め配管した例の内の1つと気泡格納装置を採用したもののについて示すことにする。

4. 12. 1 斜め配管の例：

この例は、“まえがき”に述べた高層部分と低層部分とをもつ建物で、現在コンクリートを打設中である。高層部分は地下2階、地上18階、低層部分は地下2階、地上4階で、基礎は共にベタ基礎である。地下2階部分の柱に41点の測定点を設け、図-20に示すように基礎スラブと地下2階のスラブとの間の継ぎ梁にそわせて斜め配管をした。この継ぎ梁にそわせた連通管ホースは簡単にチェックすることができないから、アルミニウム製のチャンネルを用いてカバーし、発生した気泡が自然に出られるようになっている。

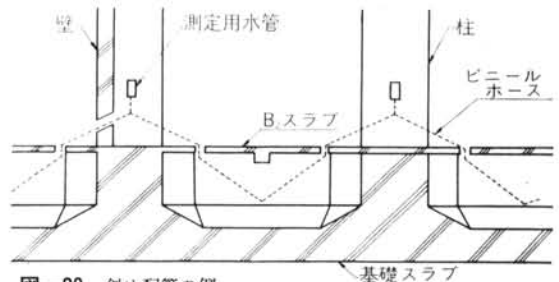


図-20 斜め配管の例

コンクリートの打設は高層部分と低層部分とが同じに進められ、低層部分のコンクリート打ち終りの時には高層部分も地上4階まで打設されていた。その後高層部分だけのコンクリート打ちが進められ、昭和41年2月現在地上6階までの打設を終っている。

測定の目的は“まえがき”に述べたとおりであり、し

たがってこの建物の1つの柱(11A)を基準点とした不同沈下量のみを測定しているもので、地下部分のコンクリート打設が終わった時から測定を開始した。

現在までのコンクリート打設によって生じた不同沈下量は、図-21に示すとおりであり、各階のコンクリート打設によって生じた不同沈下量曲線が非常に滑らかであることから、非常に正確な測定と考えることができる。

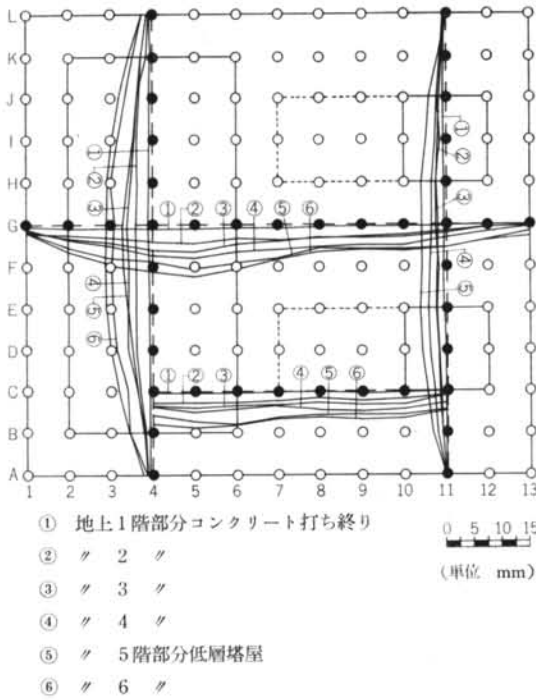


図-21 高層部分と低層部分をもつ建物の不同沈下実測例

この測定に用いられている記録用紙と記録例を表-3に示す。

4. 12. 2 気泡格納装置を全面的に採用した例:

この例は地上4階の事務所で新築約1年後、建物の傾むいていることが発見され、依頼されて傾斜の進行状況

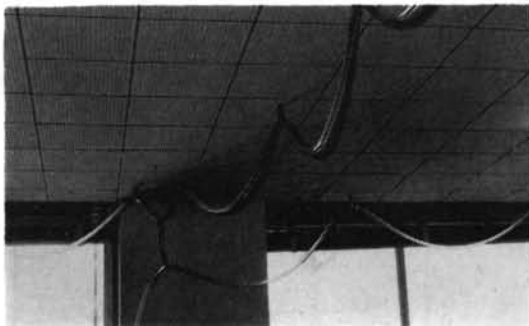


写真-6 気泡格納装置を使用して天井に釣り下げた配管

〇〇現場沈下測定		第29回				
昭和41年2月14日		測定者 大藤				
測点 NO	計器よみ	高低差	沈下量		第1回 高低差	備 考
			目 盛	mm		
11 A	17.4	0	0	0	0	地上6階
11 B	16.2	1.2	0.7	2.1	0.5	コンクリート
11 C	15.4	2.0	1.1	3.3	0.9	打ち終り時
11 D	15.7	1.7	1.3	3.9	0.4	
11 E	14.5	2.9	1.5	4.5	1.4	
11 F	16.0	1.4	1.3	3.9	0.1	
11 G	16.1	1.3	1.3	3.9	0	
11 H	15.5	1.9	1.3	3.9	0.6	
11 I	36.5	-19.1	1.2	3.6	-20.3	
11 J	17.6	-0.2	1.0	3.0	-1.2	
11 K	15.0	2.4	0.4	1.2	2.0	
11 L	11.7	5.7	0	0	5.7	
12 G	16.4	1.0	0.9	2.7	0.1	
13 G	17.6	-0.2	0.8	2.4	-1.0	
1 G	11.7	5.7	0.5	1.5	5.2	
2 G	49.3	-31.9	1.7	5.1	-33.6	
3 G	50.3	-32.9	2.5	7.5	-35.4	
4 A	23.7	-6.3	0.5	1.5	-6.8	
4 B	49.4	-32.0	1.4	4.2	-33.4	
4 C	47.7	-30.3	2.0	6.0	-32.3	
4 D	48.8	-31.4	2.5	7.5	-33.9	
4 E	50.0	-32.6	2.7	8.1	-35.3	
4 F	47.2	-29.8	2.8	8.4	-32.6	
4 G	44.9	-27.5	2.9	8.7	-30.4	
4 H	48.7	-31.3	2.7	8.1	-34.0	
4 I	50.1	-32.7	2.4	7.2	-35.1	
4 J	49.1	-31.7	2.0	6.0	-33.7	
4 K	53.3	-35.9	1.4	4.2	-37.3	
4 L	18.3	-0.9	0.6	1.8	-1.5	
5 C	47.3	-29.9	2.2	6.6	-32.1	
5 G	44.2	-26.8	3.1	9.3	-29.9	
6 C	46.5	-29.1	2.0	6.0	-31.1	
6 G	38.6	-21.2	2.7	8.1	-23.9	
7 C	41.6	-24.2	1.7	5.1	-25.9	
7 G	49.3	-31.9	2.2	6.6	-34.1	
8 C	20.0	-2.6	1.6	4.8	-4.2	
8 G	33.8	-16.4	1.6	4.8	-18.0	
9 C	13.5	3.9	1.7	5.1	2.2	
9 G	15.5	1.9	1.5	4.5	0.4	
10 C	16.2	1.2	1.6	4.8	-0.4	
10 G	17.7	-0.3	1.7	5.1	2.0	

表-3 中継点がない場合の記録用紙と記録例

を測定しているものである。

事務所建築であるから出入口や窓が多く、壁の部分にはロッカーや書類棚があって斜め配管が全くできず、全面的に気泡格納装置を採用して写真—6 にみられるように、天井に釣り下げて配管した。

これに使用した気泡格納装置は、ホースを分岐する時に用いる真チュー製三叉管の一端を塞いだもので、連通管ホースの長さ1mに対して1個使用した。この気泡格納装置部分で連通管ホースを天井に釣り下げたので、連通管ホースが折れず一石二鳥であった。

この建物は既に使用されており、事務室部分は暖冷房完備で、それ以外の階段室などは暖冷房をしていないことなどから、壁に穴を開けることができず、したがって1つの柱に2つの測定用水管をとりつけ中継しなければならないので、表—3 に示したより記録用紙が複雑になり、表—4 に示すようになった。

〇〇建物測定
第18回 41年2月10日 測定者 〇〇

基点	測点	基点よみ	測点よみ	高低差	No.1 よりの 高低差	沈下量		備考	第1回 高低差
						よみ	mm		
1	2	25.0	30.1	-5.1	-5.1	-0.3	-0.9		-4.8
1	3	—	22.2	2.8	2.8	-0.3	-0.9		3.1
3'	4	14.2	13.9	0.3	3.1	-0.7	-2.1		3.8
1	5	—	21.8	3.2	3.2	0.9	2.7		2.3
1	6	—	20.6	4.4	4.4	0.9	2.7		3.5
1	7	—	20.4	4.6	4.6	0.1	0.3		4.5
3'	8	—	13.9	0.3	3.1	0.1	0.3		3.0
1	9	—	19.7	5.3	5.3	1.1	3.3		4.2
7'	10	26.8	29.2	-2.4	2.2	0.4	1.2		1.8
8'	11	25.8	28.2	-2.4	0.7	0.4	1.2		0.3

表—4 中継点がある場合の記録用紙と記録例

また測定用水管を固定するために写真—4 に示したアルミニウム製接着金具を使用した。一部の柱がプラスチックで仕上げてあったため接着することができず、柱に穴を開けて鉛を入れ、ビスを用いてとり付けてあるので、その柱とその柱で中継して測定している柱の測定結果は信頼すべきものではなかった。

4. 13 測定方法と注意

以上が筆者が考案した清研式ウォーターレベルについてであるが、実際の測定に際して注意しなければならないことを測定方法とともに述べる。

- (1) 測定に際して水位測定器を正しく定規に合わせて付着させることはもちろんであるが、水位測定針を太い目盛り板にとり付けてあるから、水位測定器を付着させる際目盛り板が水に没入しないよう、あらかじめ調節してから定規に合わせて付着させる。この注意を忘れれば、折角静止していた水を動かすことになるからである。
- (2) このように注意して水位測定器を付着させ、微動ネジを動かして水位測定針を静かに水中に没入させ、水面を斜め下から見ながら水位測定針を静かに引き上げ、水面に一致させて目盛りを読みとる。この動作を2～3回おこなって目盛りが同じであれば記録用紙に記録する。

§ 5. あとがき

構造物の沈下測定に用いられるウォーターレベルについて、筆者の知っているテルツァギ式ウォーターレベルと、清研式ウォーターレベルについて述べた。清研式ウォーターレベルの測定器については実用新案権があり、また気泡格納装置については特許権を申請中であるが、これを一般に公開して誰でも使用することができるようにすれば、土質力学や基礎工学の進歩発展に多少なりとも寄与できるのではないかと考え、また地下工事における公害の防止に多少なりとも役立てばと考え、公開することにした。この清研式ウォーターレベルの製作は丸喜産業株式会社におこなわせることにしたので、利用される方は同社から譲り受けていただきたい。

最後に筆者を常に御導きくださり、さらにこの資料をまとめるに際して御自分で執筆された「構造物の沈下測定法」に示された図や文章まで、自由に使用させていただいた建設省建築研究所・小泉安則博士に心から感謝致します。