

土質試験用の圧力計と力計の調査結果

やま だ きよ おみ
山 田 清 臣*

1. ま え が き

計測器は、土質試験機器の一部として、試験値に直接的な影響を与えるので、その性能については十分な検討を必要とする。しかるに土質試験法で、計測器の性能とか使用法に関する規定は、ほとんど見当らない。特殊な研究目的で用いられる以外は、一般には計測器の大部分は計量法の検査規格に合格したものを取り付けて、使用しているのが現状のように思われる。この規定は、計測器についての一般的基準を示したものであって、そのまま土質試験用として適用しにくい点もみうけられる。またたとえ検査時には、十分な性能をもつ計測器も経時変化によって、しだいにくるいを生じてくるのが普通であるが、われわれははたして十分な対策を講じているのであろうか。

土質工学会のセン断試験法委員会（委員長 星埜和東大生研教授）において、数年来土のセン断の一斉試験を実施してきているが、セン断特性の影響要因の一つとして、計測器が取り上げられた。今回、この委員会で圧力計と力計がどのような現状となっているかを調査し、使用法、検定法、性能などについて検討する機会を得たので、ここにその結果を報告し、参考に供したいと思う。

なお、本調査にあたり、通産省工業技術院計量研究所に全面的な協力を賜ったものである。

2. 計測器の規格についての概要

今回調査したものは、ブルドン管式圧力計と力計（ルーピングリング）の2種である。まず、これら計測器が一般には、どのような規定によって製作、検査されて土質試験に供されるようになっていくかについて記してみよう。

2.1 圧 力 計

圧力計は、通産省の計量法と JIS B 7505「圧力計」に規定されている。計量法には、工業用圧力計と基準圧力計が、それぞれ規定されている。JIS には工業用圧力計として、ブルドン管式圧力計についての規定がある。

基準圧力計は、一般には圧力の検定用として用いられるものである。圧力計の種類と定められている規定を表-1 に示す。

土質試験に用いられる圧力計は、アネロイド型圧力計と液柱型圧力計が普通である。アネロイド型では、ブルドン管式圧力計が圧倒的に多く用いられている。液柱型では、水銀液を用いた水銀マンノメーターが低圧測定用として用いられている。型式は、U字型がもっとも一般的で、三軸圧縮試験に $0\sim 1\text{ kg/cm}^2$ の圧力範囲で、かなり広く用いられている。また圧力測定の精度を上げるために、 $0\sim 3\text{ kg/cm}^2$ を水銀マンノメーターで測定するところも少なくないようである。

圧力計の検査基準のうち、関連があると思われる事項のみを計量法から抜粋して、表-2 に示した。計量法と JIS 規格とは検査内容に若干異なったところがあるが、大差ない。われわれが入手するブルドン管式圧力計は、計量法による検査に合格したものである。表-2 を少し補足説明すると、圧力計の精度に関する規定は、原則として目盛板の指度の公差は ± 0.5 目盛（1目盛の半分）以内となっている。したがって、同じ能力をもつ圧力計

表-1 圧力計の種類と規定

圧力計の種類	計 量 法	JIS 規 格
液 柱 圧 力 計	圧 力 基 準 器 工 業 用 圧 力 計	な し
分 銅 式 圧 力 計	同 上	な し
アネロイド型圧力計	工業用圧力計として	工業用圧力計としてブルドン管式圧力計のみ
電 気 式 圧 力 計	な し	な し

表-2 ブルドン管式圧力計の検査規則（計量法）

器 差 (公差)	原則として、半目盛以内であること。ただし最大目盛の 1/10 以下の目盛では、1目盛以内とすることができる。
指度試験	最高圧力および任意の2個以上の目盛につき行なう。能力が 2 kg/cm^2 以上の圧力計は基準分銅式標準圧力計により、 2 kg/cm^2 未満のものは基準液柱型指示圧力計により検定する。
耐久性試験 (静圧)	一般用で最大目盛で 30 分以上、耐震用で 4 時間以上加圧して、器差が公差以内であること。
その他の 検 査	形状、寸法、外観、目盛、指針の寸法などについての検査

一般用は、以上の規格にしたがって、上記の項目について全数検査をうける。この他、落下（耐衝撃）、高温（耐熱）、耐震、内部摩耗の検査項目があるが、使用用途に応じて検査をうける。

* 日本大学理工学部講師，セン断試験法委員会委員

資料-103

では、目盛の分割数が多いほど、その圧力計の精度は高いことになる。また最大目盛の 1/10 以下では、この公差が±1 目盛まで許容されているので、精度はぐんと下がることになる。

JIS 規格に目盛板の目盛分割数についての基準が示されているが、大略の目安は、最大圧力 25 kg/cm² で 1 目盛が 0.2 kg/cm², 7 kg/cm² で 0.1 kg/cm², 5 kg/cm² で 0.05 kg/cm² となっている。分割数については、さらに詳細に目盛板の直径と最大圧力によって決められている。

この検査は、各都道府県の計量検定所において実施されている。写真-1 に東京都の計量検定所における検査状況の一部を示す。

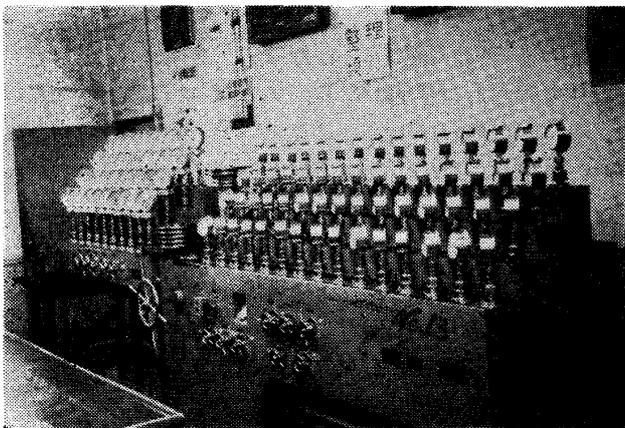


写真-1 圧力計検定 (東京都計量検定所)

2.2 力 計

力計も計量法と JIS B 7728 に規定されている。計量法には、材料試験の荷重の検査用の基準力計と計量器としての力計の 2 種が規定されている。JIS 規格には計量法の基準器に相当する規定がある。土質試験に用いている力計は、計量法の計量器検定規則によって検定されたものを用いている。計量法の力計の検査規則のうち、関連事項について規定の概要を表-3 に示す。

力計には、器物番号、能力および使用下限、および能力と使用下限を含む 5 以上の目盛の読みと力の大きさとの関係を表わす対照表が記されたいわゆる検定表を付すことになっている。とくに目盛の読みと力の大きさの関係を数値で記すことになっており、簡単に直線のグラフ

表-3 使用計量力計の検査規則 (計量法)

1. 力計は、その能力の約 1.1 倍の荷重をかけたときに、各部にくるい、またはゆるみを生じないものでなければならない。
2. 能力に相当する荷重をかけたときのタワミが 100 目盛以上なければならない。また使用下限の荷重におけるタワミが 20 目盛以上でなければならない。
3. 任意の荷重で繰返し荷重を加えたとき、指針の差が 1/200 以下の範囲で一定すること。すなわち 0.5% 以内が使用許容公差である。
4. 力計は、次の事項を記載した表が付されているものでなければならない。

(1) 器物番号、(2) 能力、(3) 使用下限の荷重、(4) 能力および使用範囲の下限を含む 5 以上の目盛の読みと力の大きさとの関係を表わす対照表。

で記してはならないようになっていることに注意したい。

検査規定は、各荷重で繰返し荷重を加えても、読みの最大と最小の差が 1/200 以内、すなわち 0.5% 以内でなければならないことになっている。また使用下限がダイヤルゲージの 20 以上目盛の荷重となっている。使用下限は、力計のタワミの絶対量でなく、ダイヤルゲージの指度で決められているので、精度の高いダイヤルゲージを用いれば、小さいタワミ量でも使用可能ということになる。検査は 4 回ていど繰返され、表-3 の公差以内となっているかを調べることになっている。この規定には、荷重とタワミの読みの直線性は定数間については決められているが、広範囲にわたっては決められていない。

従来は、力計の検定はすべて工業技術院の計量研究所において検定をうけていたが、去年から土質試験用にかぎり、上記基準テコ式試験機をもつ試験機メーカーに検定が一任されるようになっていく。したがって、従来力計の頭部に検定印園が刻印されていたが、最近購入する力計には、この刻印がなくなっているはずである。写真-2 に検定状況を示す。

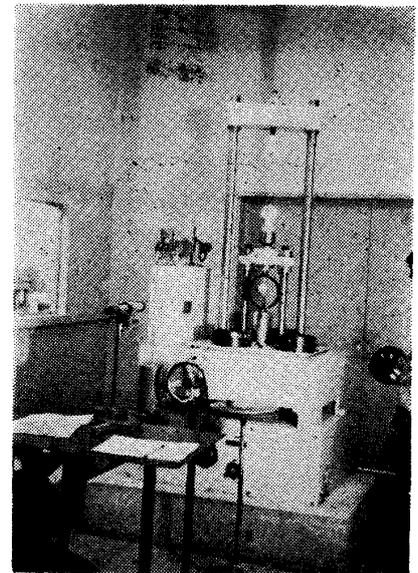


写真-2 力計検定 レバー式
(レバー比 1:50 max 2t)

3. 使用中の計測器の検定結果

圧力計の規定は、計量法のままだと土質試験で、とくに三軸圧縮試験のように圧力測定 (保安監視を目的としていない) に適用するにはラフ過ぎると思われる。また検査に合格した計測器も経時変化によって、くるいを生じてきているとも考えられる。そこで現状を知るために、セン断試験法委員会委員所属の機関が使用しているブルドン管式圧力計と力計を持ち寄り、計量研究所に検定を依頼した。以下その結果について述べる。必ずしも十分な個数とはいえないだろうが、傾向の一端は知ることができよう。

3.1 圧力計 (ブルドン管式圧力計)

各機関で使用中のブルドン管式圧力計を分銅式基準圧力計 (精度 1/500 kg/cm²) によって検定した。1, 2, 3 お

よび 5 kg/cm^2 の圧力については、全計器について、このほか最大目盛および 5 kg/cm^2 との中間の圧力について検定した。また 0.5 kg/cm^2 の目盛のあるものは水銀液柱型基準圧力計で検定した。また最大目盛では 15 分間同一圧力を保ち、指針の変動を調べ、その後減圧しながら増圧の際と同じ圧力の点で検定した。圧力指数は、1 目盛の 1/10 まで目分量で読んだ。

基準圧力計（真の値に近い）と使用圧力計との器差（指示圧力-基準圧力）の関係を図-1 に示す。また今回調査に供した計器の諸元などを表-4 に示す。この結果から 2.1 に述べた計量法の規定に合格しなかったのは、H-3 と H-4 の 2 個だけである。この 2 個はいずれも外国製であることが注目されるが、これらは目盛板の分割数が JIS 規格の 2 倍となっている。H 以外はすべて国産品であり、JIS 規格どおりである。H 製品は恐らく精度を高めるために分割数を 2 倍にしたものであろうと思われるが、国産品はいずれもそのような跡はみられない。普通三軸試験では 3 kg/cm^2 ていどの圧力まで使

表-4 ブルドン管式圧力計の一覧表

所有機関	製作会社	購入年月	能力 (kg/cm^2)	最小目盛 Δp (kg/cm^2)	目盛分割数	JIS B 7205 通り	今回の検定で合格したか	備考
A	a	38. 3	5	0.1	50	○	○	使用範囲 5 kg/cm^2 まで、年に 30 日程使用
B	b	38.10	5	0.1	50	○	○	
C-1	c	38.10	3	0.1	30	○	○	
C-2	c	38.10	7	0.2	35	○	○	
D	d	41. 7	3.5	0.1	35	○	○	
E	d	39.10	7	0.2	35	○	○	
F	d	37. 3	16	0.5	32	○	○	
G	e	40.10	7	0.2	35	○	○	12 kg/cm^2 のところが不合格 5 kg/cm^2 以上が不合格
H-1	f	37. 1	12	0.1	120	×	×	
H-2								
H-3								
H-4								
J	g	40. 3	7	0.2	35	○	○	

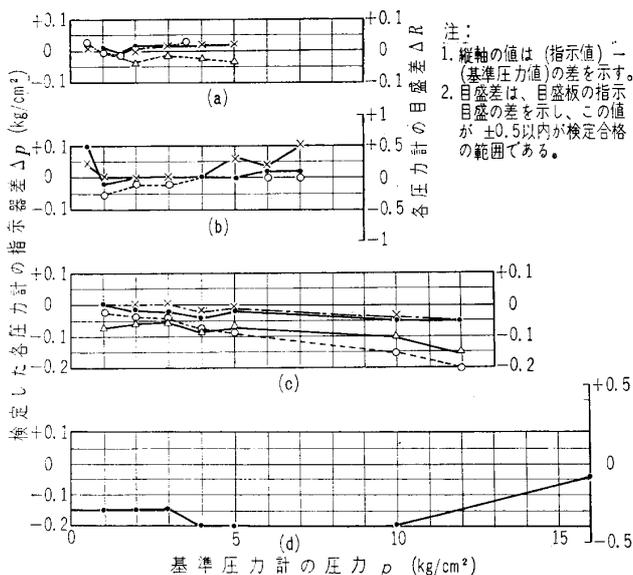


図-1 ブルドンゲージの検定結果

用することが多いが、この範囲では H-3 と H-4 を除いてみると、さほど精度が悪いとは思われないようである。しかしこれだけ器差をもっていることが使用者には全然わかっていないところに問題があろう。別途東京都の計量検定所において調べたところによると 1~2% 程度の不合格品があるとのことである。したがって今回の調査では、国産品の場合、不合格になるようなひどいのはなかったが、検査規則を考慮すると ± 0.5 目盛に近い器差をもつブルドン管式圧力計を使用する可能性があることになる。

また、増圧するときと減圧するときの圧力の指示差（同じ圧力の点で）が、図-2 に示すようになっている。減圧のときは指針が戻りにくいのか、増圧のときより大きな圧力となっている。増圧と減圧のときの器差は大きいもので 0.4 目盛と大きいものがある。

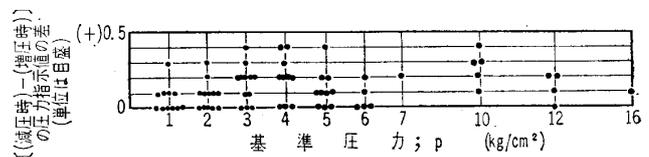


図-2 減圧時と増圧時の圧力指示の差

経時変化によって、これらがどの程度くるってくるかは、今回の調査からはわからなかったが、使用回数や取り扱い方によってはかなりくるいを生じてくると想像される。ブルドン管式圧力計の使用法について、われわれはもっと知らなければならないようである。

3.2 力 計

現在使用中の力計には、表-3 に定めるような事項を記入した検定表が付されている。この使用中の検定値と今回の検定値の間にどれだけの差があるかを調べたものである。検定は圧力計と同様に計量研究所にて実施したものである。検定結果を図-3 に示す。使用中の値と今

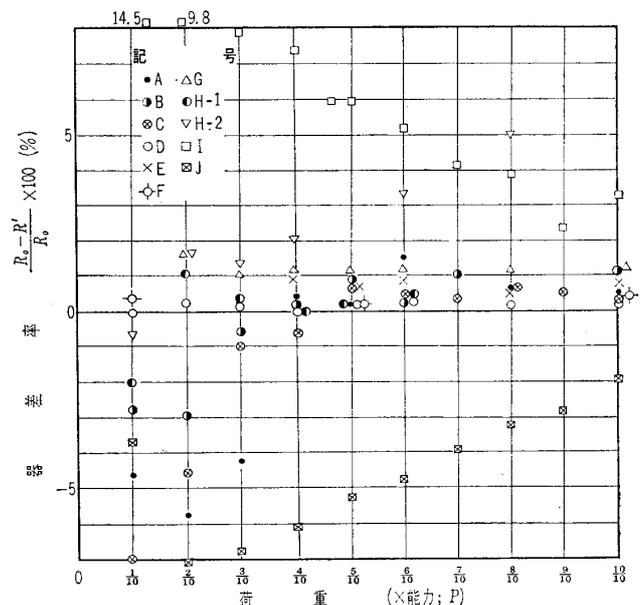


図-3 力計の各荷重ごとの器差

資 料-103

回の値の差の比率を器差率として、次式によって求めた。

$$\frac{R_0 - R'}{R_0} \times 100(\%)$$

R_0 ; 今回のタワミの読み, R' ; 使用中の検定によるタワミの読み。

この結果によって、程度の差はあるが、すべての力計はくるいを生じていることがわかる。器差は、荷重が小さいところで大きく、大部分の力計は、能力の40%以上の荷重では、0~1.5%の間で安定している。すなわち、現在使用中の検定表は、この程度の誤差が入ることになる。またA, C, I および J の四つは5%以上の器差を示している。このうちAとCは荷重が小さい間で器差が大きいが、荷重が大きくなると他の力計とほぼ同じような値をもつようになっている。IとJはどの荷重でも2.9%~14.5%という大きな器差をもっている。またH-2は5%以下の器差となっているが、他の力計とは傾向が逆となり、荷重が増すにつれて大きな器差をもつようになっている。また器差は⊕となるか⊖となるかは、全く傾向をもっておらず⊕にも⊖にもくるいを生ずるといえよう。力計は、タワミの読みが20目盛りより小さい荷重では使用してはいけないことが計量法に定められているが、この結果をみても、タワミの小さいところの荷重の誤差は大きいことも符合するものであろう。弱い強度の供試体の圧縮試験には、大きな能力の力計を使用してはならないことが伺われる。

各力計は、4回往復の荷重とタワミの読みの関係を読んだ。各荷重におけるタワミの読みから次式による値を求め、図-4に示した。

$$\frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\text{mean}}} \times 100(\%)$$

表-5 力 計 の 一 覧 表

所有機関	製作会社	検定年月	能 力 (kg)	最大荷重における変形 (mm)	形 状	ダイヤルゲージ支持方式	検 定 表	計量研究所の所見
A	a	37.9	1,000	2,448	L 型	A*	増減共検定	能力表記なし。ダイヤルゲージのスピンドルにサビあり、文字板不鮮明。0の戻り悪し。指針の動き悪し。
B	a	38.9	300	2,919	L 型	A	増荷重のみ	ダイヤルゲージ取付け部にガタあり。能力表記なし。
C	b	38.10	300	2,629	環 状	B	増荷重のみ	指針の先が曲っている。ガラス汚れている。
D	c	40.5	50	5,497	L 型	A	増荷重のみ	
E	d	39.10	300	2,121	環 状	B	増 減 共	ダイヤルゲージ・スピンドル部にサビあり。
F	d	37.3	300	2,676	環 状	B	増 減 共	ダイヤルゲージ取付けが中心よりずれている。0点不安定。
G	c	40.10	100	3,909	環 状	B	増 減 共	
H-1	f	37.1	150	2,864	環 状	A	増荷重のみ	1/500 mm 目盛のダイヤルゲージ使用
H-2	f	37.1	50	2,920	環 状	A	増荷重のみ	同 上
I	a	39.11	200	3,552	環 状	A	増 減 共	指針の動き悪し。ダイヤルゲージ取付けネジにゆるみあり。0点不安定。
J	a	40.3	500	3,872	L 型	A	増荷重のみ	ピストンと力計の接合点が一点で接していないので、安定していない。

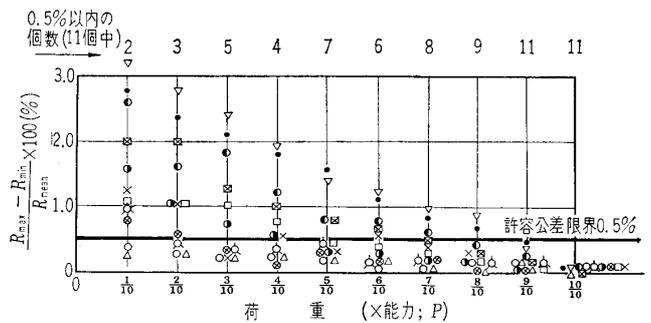


図-4 各荷重におけるタワミの読みのバラツキ (往復各4回の繰返し荷重)

R_{\max} ; 読みの最大値, R_{\min} ; 読みの最少値, R_{mean} ; 読みの4回の平均値。

計量法では、この値が1/200=0.5%以内で一定しなければならないことになっている。今回検定した力計のうち、合格したのはわずかに11個中2個だけであった。一般に荷重が大きくなるにつれて、バラツキの割合は小さくなっている。能力の90%以上の荷重ではじめて、全数が許容公差0.5%以内となっている。このバラツキは往・復の読みを区別しないときの値であるが、往だけまたは、復だけの4回のそれぞれの最大値と最小値の差はきわめて小さい。すなわち、往きと復りの差が大きい。この事実は、力計の使用上の注意となるであろう。

表-5に力計の諸元などを示す。以上のように意外と思われるほど大きな器差が出た原因はいろいろあると思われるが、この表に付記した計量研究所の村田技官の所見を参考にして、原因をあげてみると次のようなものであろう。

- (1) 力計自身の経時変化による。
- (2) ダイヤルゲージのくるいやゆるみによる。
- (3) ダイヤルゲージの取付け部にガタが生じやすい

構造のものが多い。

(4) A型(表-5)のダイヤルゲージ取付けにあっては、力計取付け台座のネジがゆるみやすい。

(5) ダイヤルゲージは取り扱い不良(振動、衝撃、塵埃、油などによる)と思われるものがほとんどである。

ダイヤルゲージ取付け部は、従来はA型式のように間接的なものが多かったが、最近はB型式のような直接リングに取付けるものが安定性がよいといわれている。またダイヤルゲージや取付け部にガタがきているのがかなり多く見られる。

図-5に、力計の読みと荷重の直線性を示した。縦軸は、次式に示す値にとった。

$$\left[\frac{n}{10} P \text{ の読み} - \frac{n-1}{10} P \text{ の読み} \right] - \left[\frac{1}{10} P \text{ の読み} \right]$$

n ; 1~10の整数, P ; 最大荷重(能力)

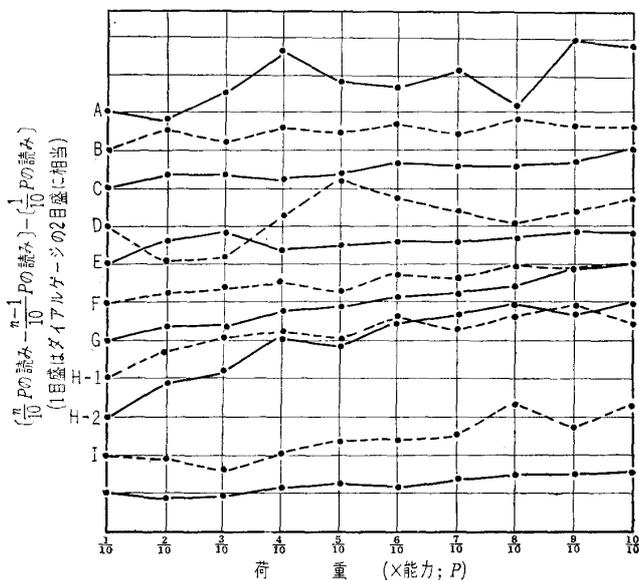


図-5 荷重とタワミの読みとの直線性

もし、読みと荷重が完全に原点を通る直線関係であれば、この図の線は水平となる。一般に荷重が大きくなるにつれて変形度が大きくなっているのので、読みと荷重とは上に凹な関係となる。通常は直線として較正係数を用いているが、たとえばH-2のような力計にあっては、全荷重範囲にわたって一定の較正係数を用いるとかなりの誤差が生ずる。このようなときは、読みを数段階に分けて較正係数を用いる必要がある。

4. 使用上の問題点について

以上の調査結果によって、現在使用している圧力計と力計は、使用法が適切でないと、かなりの誤差を生ずる可能性があることがわかった。試験の信頼性を増すには、使用法のくふうを必要としよう。今回の調査にもとづいて使用法や性能について考えてみたいと思う。

4.1 圧力計

November, 1966

元来ブルドン管式圧力計は、圧力の保安、管理上の監視のために用いられるのが主目的であるようであるから、このまま土質試験の測定器としては、必ずしも十分な性能をもっているとはいえないようである。したがって、次のような対策が必要であろう。

(1) ブルドン管式圧力計で測定できる範囲は、最大目盛の10%から75%の間の圧力である。とくに低い圧力では、指示機構上精度が悪く圧力測定に用いてはならない。低い圧力を計るときは、十分な精度をもつブルドン管式圧力計(能力が小さいもの)を使用するか、または水銀マンオメーターのように高い精度をもつ圧力計を用いる必要がある。このほかペローズ式や空盒(ゴウ)式圧力計もある。

一般には低い圧力(たとえば0~1 kg/cm²)は水銀マンオメーターを用い、それ以上ではブルドン管式圧力計を用いるのがよいであろうし、最近ではほとんどの三軸試験機は、この型式を備えているようである。実験室の上方クリヤランスさえ許せば、3 kg/cm²ぐらまでは、水銀マンオメーターを用いたいものである。

(2) ブルドン管式圧力計の検査規則による性能だけでは、土質試験の計測器としては少しラフである。計測器としては、最小目盛について十分検討すべきであるし、また各目盛を基準圧力計で検定したものをを用いるようにすると、信頼性はぐんと大きくなる。一方、側圧測定用圧力計には、特定圧力しか一般には測定の必要がないから、その圧力だけでも検定しておけば目的を達成できよう。

(3) 経時変化による器差を最小にする方策を講ずる必要がある。使用回数とか管理状況によって経時的に器差が生じてくるのが普通であるから、一定期間ごとに検定を行なうようにするとよい。検定の方法には、(a)各都道府県の計量検定所または、基準圧力計をもつ試験機メーカーに依頼する。(b)実験室に分銅式基準圧力計を備えて、常時圧力計をチェックする。写真-3に分銅式圧力計を示すが、価格は、3万5千円程度である。ま

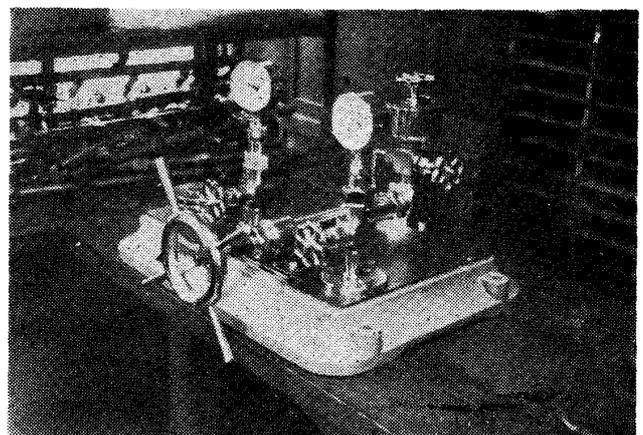


写真-3 分銅式基準圧力計(東京都計量検定所)

資 料-103

た、ある程度古くなったら新しいのと取り換えることも考えた方がよいと思う。

(4) 今回調査の対象とならなかった水銀マンノメーターも、必ず十分精度を確かめた上で使用することが大切である。連続的に圧力を測定するときは、水銀頭差を読んで圧力を求めるよりも、U字管の一方の水銀頭を読んで圧力を求めることが多い。このときもしガラス管の断面が一樣でないとき、圧力目盛は等間隔とならないが、断面一樣なガラス管は、相当に高価になるようである。

4.2 力 計

(1) 力計について問題となるのは、経時変化によるくるいに対する対策である。このくるいの原因については、3.2 で述べたとおりであるが、これらを最小にするためには、取扱いに十分注意を払わなければならないことはもちろんであるが、それでもなおくるいを避けることは不可能である。この対策には、荷重基準器による検定をうける以外にない。どの程度のヒン度で検定を必要とするかは、使用ヒン度や、管理状況などに左右されるので、一概に決められない。古いものほど器差や、バラツキが大きいことは事実であるし、また材料試験のアムスラーでは、海事協会で受ける検定は年間しか保証されていないこと、および計量研究所村田技官のご意見を総合すると、1年に1回の検定ヒン度が標準と考えられる。

(2) また前述のように力計の取付け部やダイヤルゲージにガタやゆるみが生じやすいが、手直ししたら必ず検定をうけないと器差が生ずる。

(3) 力計の能力の1/3 ぐらいより小さいところは、器差が大きいから、供試体の強さに応じて力計の能力を選択するよう心がけることも大切である。いくつか能力のちがう力計を備えると便利である。

(4) 土質試験用力計の検定は、荷重基準器をもつ試験機メーカーに任せられており、最近では、この基準器をもつメーカーもいくつかはあるようであるから、検定も比較的便利となった。

5. あとがき

今回の調査にもとづいて、計測器の使用上の注意事項をまとめてみると、次のようなことになる。

(1) 計測器の特性や、性能をよく知り、十分その特長に適した方法によって、使用することが大切である。

(2) 計測器には、経時変化のあることを念頭におき、できるだけ器差を少なくするように、適宜検定を実施する。

(3) 使用法、取扱い方および管理などに十分留意する。

土質試験の影響要因は、いろいろあることであろうが、少なくとも測定上の計測器によるものは最小限にくい止めたいものである。それには、それぞれの計測器の精度を確認しておくことが大切であることが痛感させられた。

この一文は専門外の分野のことであるから、誤りも多いかと思うが、土質試験技術のお役に立てば幸いである。また不明なところや、ご批判があればぜひお聞かせ願いたいと思います。

なお、この調査にあたり、セン断試験法委員会の委員の方々および工業技術院計量研究所の松代正三部長、村田守および前田明技官に多大なご協力と助言を賜ったので、謝意を表します。なお以下のような文献が参考になるかと思えます。

参考書、文 献

- 1) 通産省，“計量法”
- 2) “ JIS B 7505 “圧力計”
- 3) “ JIS B 7828 “材料試験用荷重検定器”
- 4) 榎本進一著，“圧力” コロナ社
- 5) 早瀬佑次郎，“圧力測定” 機械学会誌 Vol. 57, No. 425
- 6) Bishop & Henkel: “The measurement of soil properties in the triaxial test”, pp. 171.
- 7) Bishop & Green: “The influence of end restraint on the compression strength of a cohesionless soil”, Geotechnique, Vol. 16, No. 3.

※

※

※